

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Alexy, Matthias

Numerische Modelluntersuchungen zu den Auswirkungen der Deichrückverlegung Lenzen und von geplanten Vorlandanpflanzungen

BAWMitteilungen

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102537>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Alexy, Matthias (2013): Numerische Modelluntersuchungen zu den Auswirkungen der Deichrückverlegung Lenzen und von geplanten Vorlandanpflanzungen. In: BAWMitteilungen 97. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 73-98.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Numerische Modelluntersuchungen zu den Auswirkungen der Deichrückverlegung Lenzen und von geplanten Vorlandanpflanzungen

Numerical Model Tests to Evaluate the Impact of the Lenzen Dike Relocation and of Projected Floodplain Planting Areas

Dipl.-Ing. Matthias Alexy, Bundesanstalt für Wasserbau

Bei der Ausführung der Deichrückverlegung Lenzen-Wustrow hatten sich gegenüber der den früheren Untersuchungen der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) zugrunde liegenden Planung einige Änderungen ergeben. So wurden der Verlauf des um 70 cm erhöhten Hochwasserdeiches verändert und die Flutrinnen im Vorland verkleinert. Außerdem ist die Lage und Struktur der Auwaldpflanzungen im Rückdeichungsgebiet modifiziert worden. Deshalb bat das Bundesamt für Naturschutz (BfN) im November 2006 um Amtshilfe bei der Untersuchung der hydraulischen Auswirkungen der nunmehr unter geänderten Randbedingungen ausgeführten Deichrückverlegung.

Die Untersuchungen wurden mit dem hydronumerischen Verfahren UnTRIM durchgeführt. Wegen der in den hier speziell zu untersuchenden Vorland- bzw. Rückdeichungsbereichen vernachlässigbaren Sekundärströmungseffekte kam ein 2D-tiefengemitteltes Modell zum Einsatz.

Durch die Vergrößerung der Abflussflächen kommt es infolge der Deichrückverlegung bei Hochwasserereignissen zu einer deutlichen Absenkung der Wasserspiegellagen, welche für ein 100-jährliches Hochwasser am ersten Einlaufschlitz (El-km 477) 0,35 m beträgt. Am unterstromigen Rand des Deichrückverlegungsgebietes ergibt sich gegenüber dem Zustand ohne rückverlegten Hochwasserdeich ein Wasserspiegelanstieg von maximal 0,06 m im Bereich El-km 483.

Unter der Annahme einer im Jahr 2090 voll entwickelten Vegetation kommt es bei einem 100-jährlichen Hochwasser zu einer maximalen Wasserspiegelanhebung im oberstromigen Bereich des Rückdeichungsgebietes in der Größenordnung von etwa 0,12 m gegenüber dem Bewuchszustand 2009. Damit liegt der Wasserspiegel

dann immer noch bis zu ca. 0,25 m unter dem Wasserspiegel für den Zustand ohne die Rückdeichung.

When the Lenzen-Wustrow dike relocation was carried out, the original planning data on which the former investigations by the Federal Waterways Engineering and Research Institute (BAW) had been based were subject to some modifications. For instance, the course of the dike whose height is increased by 70 cm has been altered and the size of the flood channels in the floodplain has been reduced. The changes also affect the location and structure of the floodplain forests planted in the dike relocation area. For this reason, the Federal Agency for Nature Conservation (BfN) requested the assistance by another administration in 2006 when it had to assess the hydraulic impact of the dike relocation under the new boundary conditions.

The investigations were made using the hydrodynamic numerical UnTRIM model. There are only minor secondary flow effects in the floodplain and dike relocation areas which are specifically examined here and therefore a two-dimensional depth-averaged model was used.

As a result of the dike relocation there is a clear decrease of water levels during floods because of the enlarged area available for water runoff: for a 100-year flood, the water level at the first slot (Elbe kilometer 477) decreases by 0.35 m. On the downstream boundary of the dike relocation area the water level increase in the zone of Elbe kilometer 483 is 0.06 m at maximum as compared to a scenario where the location of the dike remains unchanged.

Assuming that the vegetation planted will be fully established by the year 2090, a 100-year flood will lead to a water level increase in the upstream part of the dike

relocation area of at most 0.12 m as compared to the growth state in 2009. Thus, the water level will still be up to approx. 0.25 m below that observed prior to the dike relocation.

1 Einführung *Introduction*

Seit 1995 begleitete die BAW die Planungen und die Umsetzung der Deichrückverlegung Lenzén mit verschiedenen Modelluntersuchungen. Ziel war das Aufzeigen der regionalen Wirkungen der Deichrückverlegung auf Wasserspiegel, Wellenablauf und Feststofftransport sowie der lokalen Wirkungen hinsichtlich Strömungsausprägung, Geschiebetransport und die Bereitstellung von Daten zur Ableitung von Habitatbedingungen.

Mit dem hier vorgestellten Modell wurden die hydraulischen Auswirkungen der Deichrückverlegung unter Berücksichtigung der gegenüber den vorhergehenden Planungszuständen vorgenommenen Änderungen untersucht. Außerdem war der Einfluss der sich im Deichrückverlegungsgebiet entwickelnden Vegetation auf die Strömungsverhältnisse Gegenstand der Untersuchungen. Weiterhin wurden mit dem Modell im Rahmen des KLIMZUG-Nord-Projektes 3.2 Szenarienrechnungen zum Einfluss klimabedingter Abfluss- und Vegetationsänderungen auf die Wasserstände in der Elbe durchgeführt.

2 Datengrundlage *Data basis*

Die Modellgeometrie basiert auf dem im Jahr 2004 von der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) beauftragten und im Jahr 2007 zur Nutzung übergebenen digitalen Geländemodell des Wasserlaufes (DGM-W) (BfG, 2008). Das digitale Geländemodell liegt für den untersuchten Elbeabschnitt (El-km 470-489,5) in einem 2 m-Raster (Tripledaten) im Gauss-Krüger-System 42/83 (Ellipsoid Krassowski, Projektion GK4) vor.

Für die Modellierung des Rückdeichungsgebietes sind folgende Daten verwendet worden:

- Unstrukturierte Tripledaten für das Rückdeichungsgebiet ohne die Flutmulden aus BfG (2008),

- Topografie der Flutmulden Ost, Mitte und West entsprechend aktualisierter Planungen,
- Topografie der drei Durchstiche im Gandower Fährdamm entsprechend aktualisierter Planungen,
- Lage und Größe der im bestehenden Deich vorgesehenen Schlitze entsprechend aktualisierter Planungen.

Die Daten für das Rückdeichungsgebiet liegen im Bezugssystem ETRS 89 (Ellipsoid WGS 84, Projektion UTM Zone 33) sowie im Höhensystem DHHN 92 (Deutsches Haupthöhennetz 92) vor.

Zur Berücksichtigung des durch die bestehenden und geplanten Pflanzungen hervorgerufenen Fließwiderstandes war es erforderlich, die Lage und Struktur des Auwaldes zu kennen. Der bestehende Pflanzenbestand konnte durch die aus dem Jahr 2003 stammenden Luftbilder sowie im Rückdeichungsbereich auch durch Umfassungspolygone (ESRI-Shape-Dateien) des Projektträgers (Trägerverbund Burg Lenzén (Elbe) e. V., 2009) identifiziert werden. Außerdem enthalten diese ESRI-Shape-Dateien Polygonzüge, welche die Lage der im Rückdeichungsgebiet geplanten Auwaldpflanzungen beschreiben.

Im Lütkenwischer und Mödlicher Werder, welche sich ober- bzw. unterstrom der Deichrückverlegung befinden, sind lineare Galeriewaldpflanzungen auf der Uferrehne und deichnahe Auwaldpflanzungen („Deichschutzpflanzungen“) geplant. In der landschaftlich bedeutenden Solitäreichenlandschaft im Mödlicher Werder sind außerdem verstreute Baumgruppen vorgesehen. Angaben zur Lage und Struktur dieser Pflanzungen wurden ebenfalls durch den Projektträger übermittelt.

Alle Umfassungspolygone zur Lagebeschreibung der bestehenden und geplanten Auwaldpflanzungen lagen im Bezugssystem ETRS 89 (Ellipsoid WGS 84, Projektion UTM Zone 33) vor.

Tabelle 1 zeigt die von der BfG zur Verfügung gestellten Hauptwerte der Jahresreihe 1971-2000 sowie die vorläufigen Hochwasser-Hauptwerte (Wiederkehrintervalle) HQ(T) (Bundesländer, 2004) für den Pegel Wittenberge/Elbe. Für die Hochwasser-Hauptwerte existieren jeweils zwei verschiedene Werte der Bundesländer Brandenburg und Sachsen-Anhalt. Für die Varianten-

Hauptwerte (1971-2000)	NQ	MNQ	MQ	MHQ	HQ	HHQ	
Q [m ³ /s]	195	296	689	1.891	3.280	3.830	
Hochwasser- Hauptwerte	HQ2	HQ5	HQ10	HQ20	HQ50	HQ100	HQ200
Q [m ³ /s]	1.860	2.560	2.940	3.320	3.710	4.020	4.290

Tabelle 1: Hauptwerte der Jahresreihe 1971-2000 und vorläufige Hochwasser-Hauptwerte des Landes Sachsen-Anhalt für den Pegel Wittenberge/Elbe

Table 1: Main values for the annual series 1971-2000 and preliminary main values for floods in the state of Saxony-Anhalt for the Wittenberge/Elbe gage

rechnungen wurden die ebenfalls in Tabelle 1 aufgeführten Abflussangaben des Landes Sachsen-Anhalt gewählt, welche 20 m³/s bis 30 m³/s höher als die des Landes Brandenburg liegen.

Alle für die Kalibrierung und Validierung verwendeten, insgesamt neun Wasserspiegelfixierungen sind in Bild 1 mit den für die Rechnungen genutzten Abflusszuordnungen dargestellt.

Die bei geringen Abflüssen gemessenen Wasserstände werden durch die zum Zeitpunkt der Fixierung vorhandene Sohlentopografie beeinflusst. Durch langfristige morphologische Entwicklungen und die unmittelbare

hydrologische Vorgeschichte können so bei gleichen oder ähnlichen Abflusswerten mehr oder weniger stark voneinander abweichende Wasserspiegellagen gemessen werden. Deshalb wurden zur Modellkalibrierung und -validierung möglichst aktuelle Fixierungen herangezogen. Gleichwohl passen die Fixierungen bei Hochwasser nicht zur im Modell eingebauten Sohlengeometrie, die bei niedrigen Wasserständen aufgenommen wurde. Hier ist jeweils ein Kompromiss erforderlich, sodass sich daraus ergebende Ungenauigkeiten durch die Kalibrierung aufgefangen werden müssen.

Bei Hochwasserereignissen herrschen in der Regel ausgeprägte instationäre Strömungsverhältnisse. Es

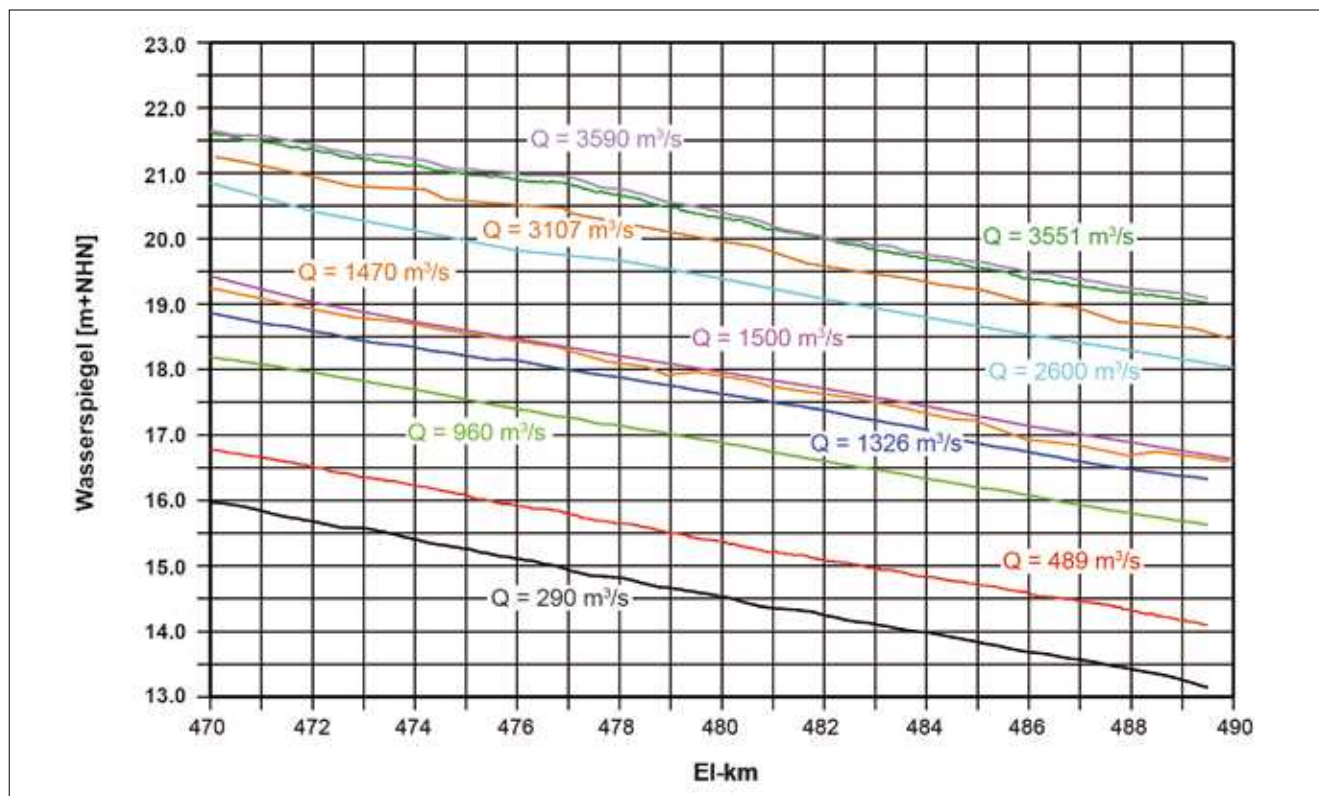


Bild 1: Für die Kalibrierung und Validierung des Modells verwendete Fixierungen

Figure 1: Water surface levelling used for the calibration and validation of the model

läuft eine Hochwasserwelle ab. Die Abflüsse weichen deshalb zum Zeitpunkt der Fixierung an verschiedenen Stellen der Untersuchungsstrecke unter Umständen erheblich voneinander ab. Da das Modell unter stationären Abflussverhältnissen betrieben wird, wurden deshalb Hochwasser-Fixierungen gewählt, die relativ geringe Abflussschwankungen aufweisen. Weiterhin ist zu beachten, dass die Abflussmessungen bei Hochwasser eine höhere Ungenauigkeit aufweisen können.

3 Zweidimensionales tiefengemittelttes hydronumerisches Modell

Two-dimensional depth-averaged hydrodynamic numerical model

3.1 Modellverfahren und -aufbau

Method and structure of the model

Zur Anwendung kommt das hydronumerische Verfahren UnTRIM, welches in der BAW seit April 2007 in einer MPI-parallelierten Version vorliegt (Casulli & Zanolli, 2002; Jankowski, 2009). UnTRIM ist ein semi-implizites Finite-Volumen-Verfahren zur Lösung der 3D-Flachwasser- und Transportgleichungen, welches auf einem unstrukturierten Gitter arbeitet. In den hier speziell zu untersuchenden Vorland- bzw. Rückdeichungsbereichen ist der Einfluss von Sekundärströmungseffekten vernachlässigbar, sodass der Ansatz einer gleichförmigen vertikalen Geschwindigkeitsverteilung gerechtfertigt ist. Deshalb und weil es sich um ein relativ großes, hoch aufgelöstes Modell mit einem entsprechenden Rechenzeit- und Speicherplatzbedarf handelt, kommt ein 2D-tiefengemittelttes Modell zum Einsatz.

Der Aufbau des Rechengitters von El-km 470 bis 489,5 erfolgte im Auftrag der BAW durch die Firma Smile Consult auf der Basis der weiter oben dargestellten Datengrundlage (Smile Consult, 2009).

Es wurden insgesamt zwei hoch aufgelöste Gitternetze erstellt. Das erste bildet den Ist-Zustand mit dem derzeitigen Deichlinienverlauf ab. Das zweite Rechengitter stellt den Ausbau-Zustand mit dem rückverlegten Hochwasserdeich, den Flutrinnen im Vorlandbereich, den Durchstichen im Gandower Fährdamm sowie den Schlitzungen im Altdeich dar. Das beim Schlitzten des Altdeiches angefallene Material wurde an der Binnen-

seite des bisherigen Hochwasserdeiches angeschüttet. Da dieser Bereich zum Zeitpunkt der Projektbearbeitung noch nicht vermessen war, konnten diese Anschüttungen bei den Modellrechnungen nicht berücksichtigt werden.

Die Abbildung kleinerer Strukturen wie der Bühnenkörper erfolgte durch die Verwendung einer hohen Gitterauflösung im Bereich des Flussbettes (Viereckselemente mit 2 m Kantenlänge), sodass die hydraulische Wirkung der Bühnen erfasst wird, ohne dass die Elementkanten gezielt auf die Bauwerksgeometrie ausgerichtet werden mussten. Auch im Vorland wurde in Hinblick auf eine effizientere Gitternetzgenerierung auf die Ausrichtung der Gitterkanten auf Geländestrukturen weitgehend verzichtet. Um die hydraulische Wirkung der Flutrinnen, Durchstiche und Deichschlitze trotzdem zu erfassen, wurden auch in diesen Bereichen Viereckselemente mit einer Kantenlänge von 2 m eingebaut.

Bild 2 zeigt das Rückdeichungsgebiet (El-km 476,7 bis 483,7) als Ausschnitt aus dem Gesamtmodell. Neben den sechs im bisherigen Hochwasserdeich angeordneten Schlitzten ist der quer durch das Rückdeichungsgebiet verlaufende Gandower Fährdamm zu sehen. Insgesamt drei Durchstiche (FD1 bis FD3) sorgen dafür, dass dieser Damm im Hochwasserfall ausreichend Wasser passieren lässt. Neben der östlichen Flutmulde, welche den Anschluss der mittleren und südlichen Fährdamm-Durchstiche an den oberstromigen Deichschlitz DS1 gewährleistet, wurden zur Verbesserung der Abflussverhältnisse im Rückdeichungsgebiet drei weitere Flutmulden angelegt.

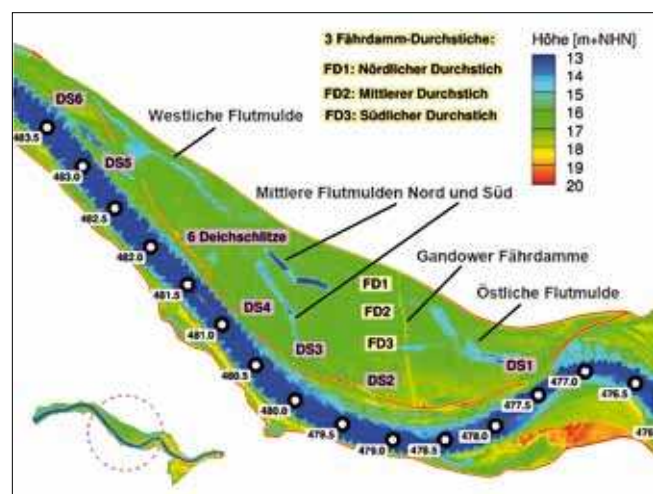


Bild 2: Überblick über das Rückdeichungsgebiet
Figure 2: Overview of the dike relocation area

3.2 Kalibrierung und Validierung des Modells für den Zustand vor der Deichrückverlegung

Calibration and validation of the model for the state before the dike relocation

Die Kalibrierung des Modells erfolgte auf der Grundlage von fünf ausgewählten Wasserspiegelfixierungen (290 m³/s, 489 m³/s, 960 m³/s, 1.500 m³/s und 3.670 m³/s), welche auch in Bild 1 dargestellt sind. Beginnend mit den niedrigen Abflüssen wurden zunächst die Rauheitswerte k_s [m] (nach Nikuradse) für den Flussschlauch, die Uferbereiche und schließlich für die Vorländer festgelegt. Diese Rauheitswerte beinhalten neben der Kornrauheit auch die sogenannte Formrauheit. Die Kornrauheit wird durch die Oberflächenreibung an der Gerinnewandung verursacht und lässt sich mit einer repräsentativen Länge eines Rauigkeitselementes (z. B. Sohlenkorndurchmesser) relativ gut korrelieren. Die Formrauheit wird durch Unregelmäßigkeiten der Gerinnewandung hervorgerufen. Sie wird z. B. verursacht durch im Gewässerbett auftretende Sohlenformen (Sandbänke, Dünen, Riffel) oder den Pflanzenbewuchs auf den Vorländern. Soweit diese Unregelmäßigkeiten nicht durch die Modelltopografie abgebildet werden bzw. die Auswirkungen dieser Unregelmäßigkeiten durch das gewählte Modellverfah-

ren (z. B. Einschränkungen durch Tiefenmittelung) nicht zu erfassen sind, müssen die dadurch bedingten Fließwiderstände durch eine Anpassung der Rauheitswerte Berücksichtigung finden. Das betrifft im vorliegenden Modell insbesondere den Bewuchs auf den Vorländern. Hier wurde auf Erfahrungswerte aus der Literatur zurückgegriffen. Tabelle 2 (siehe Folgeseite) zeigt eine entsprechende Zusammenstellung von Rauheitswerten nach Habersack (2007/2008).

Dabei erfolgte die Umrechnung der Strickler-Werte (k_{st}) in die für die Modellrechnungen erforderlichen Rauheitswerte nach Nikuradse (k_s) über die folgende Formel:

$$k_s = \frac{14,84 \cdot h}{10^{\left(\frac{k_{st} \cdot h^{1/6}}{17,72}\right)}} \quad [m] \quad (1)$$

mit: h – Wassertiefe [m]

Beginnend mit den bei niedrigen und mittleren Abflüssen durchgeführten Wasserspiegelfixierungen wurden Rauheiten für das Flussbett und die Uferbereiche festgelegt. Der in Bild 3 dargestellte Vergleich zwischen den gemessenen und berechneten Wasserspiegeln zeigt eine gute Übereinstimmung (Abweichung < 10 cm) für diesen Abflussbereich.

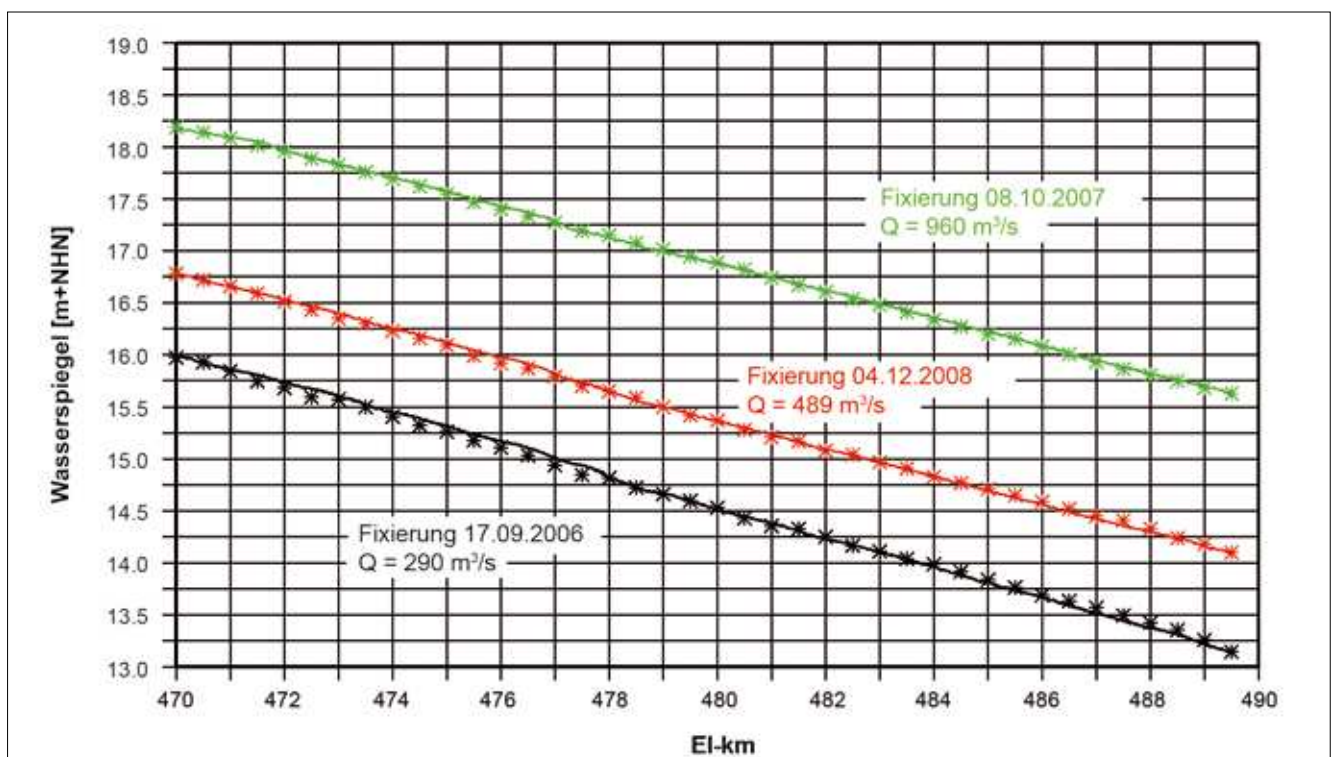


Bild 3: Modellkalibrierung für den Mittel- und Niedrigwasserbereich
Figure 3: Model calibration for mean and low water levels

		Mittelwert	h = 1 m	h = 2 m	h = 3 m
1	Hauptabflussquerschnitt	$k_{st} [m^{1/3}/s]$	$k_s [m]$	$k_s [m]$	$k_s [m]$
a.	gerade, gering strukturiert, keine Kolke	33	0,20	0,24	0,26
b.	wie a., jedoch höherer Grobsteinanteil und/oder Verkräutung	29	0,34	0,43	0,48
c.	gewunden, gering strukturiert, einige Kolke und Furte	25	0,58	0,77	0,90
d.	wie c., jedoch höherer Grobsteinanteil und/oder Verkräutung	22	0,85	1,20	1,44
e.	wie d., geringere Wassertiefen, mehr unwirksame Abflussbereiche	21	0,97	1,39	1,68
f.	wie d., jedoch sehr hoher Grobsteinanteil	20	1,10	1,61	1,96
g.	sehr langsam fließende Bereiche, verkräutet, tiefe Kolke	14	2,41	3,85	5,01
h.	sehr starke Verkräutung, Kolke, Flutmulden mit dichtem Bewuchs	10	4,05	6,90	9,35
2	Vorländer				
a.	Wiese, Acker				
a1.	kurzes Gras, Acker ohne Bewuchs	30	0,30	0,37	0,41
a2.	hohes Gras	20	1,10	1,61	1,96
	Gras mit Stauden	23	0,75	1,04	1,23
b.	Landwirtschaftlich genutzte Flächen				
b1.	keine Feldfrucht	33	0,20	0,24	0,26
b2.	reifes Getreide (Reihensaat)	20	1,10	1,61	1,96
b3.	reifes Getreide (flächig)	18	1,43	2,15	2,68
b4.	Mais	6	6,81	12,37	17,45
c.	Gebüsch				
c1.	vereinzelt, starke Krautschicht	20	1,10	1,61	1,96
c2.	Gebüsch geringer Dichte, im Winter	15	2,11	3,33	4,29
c3.	Gebüsch geringer Dichte, im Sommer	12	3,12	5,16	6,84
c4.	Gebüsch mittlerer bis hoher Dichte, im Winter	10	4,05	6,90	9,35
c5.	Gebüsch mittlerer bis hoher Dichte, im Sommer	8	5,25	9,24	12,78
d.	Bäume				
d1.	Kahlschlag	25	0,58	0,77	0,90
d2.	Kahlschlag mit starkem Wurzelaustrieb	17	1,63	2,49	3,14
d3.	dichter Wald, wenig umgestürzte Bäume	10	4,05	6,90	9,35
d4.	wie d3., jedoch Abfluss bis in Asthöhe	8	5,25	9,24	12,78
d5.	dichte Weiden, Sommer, gerade	7	5,98	10,69	14,93

Tabelle 2: Rauheitswerte für natürliche Fließgewässer nach Habersack (2007/2008)

Table 2: Roughness coefficients for natural watercourses according to Habersack

Zur Festlegung der Rauheitszonen für die Vorlandbereiche wurden die bestehenden Bewuchsstrukturen anhand von Luftbildern identifiziert. Die im Deichrückverlegungsgebiet bis 2002 erfolgten sowie die geplanten Pflanzungen sind ebenfalls mit Hilfe von Luftbildauf-

nahmen sowie durch vom Projektträger zur Verfügung gestellte Umfassungspolygone (Trägerverbund Burg Lenzen (Elbe) e. V., 2009) im Modell markiert worden. Weiterhin konnten vom Projektträger Angaben zur Lage und Struktur der im Lützenwischer und Mödlicher Wer-

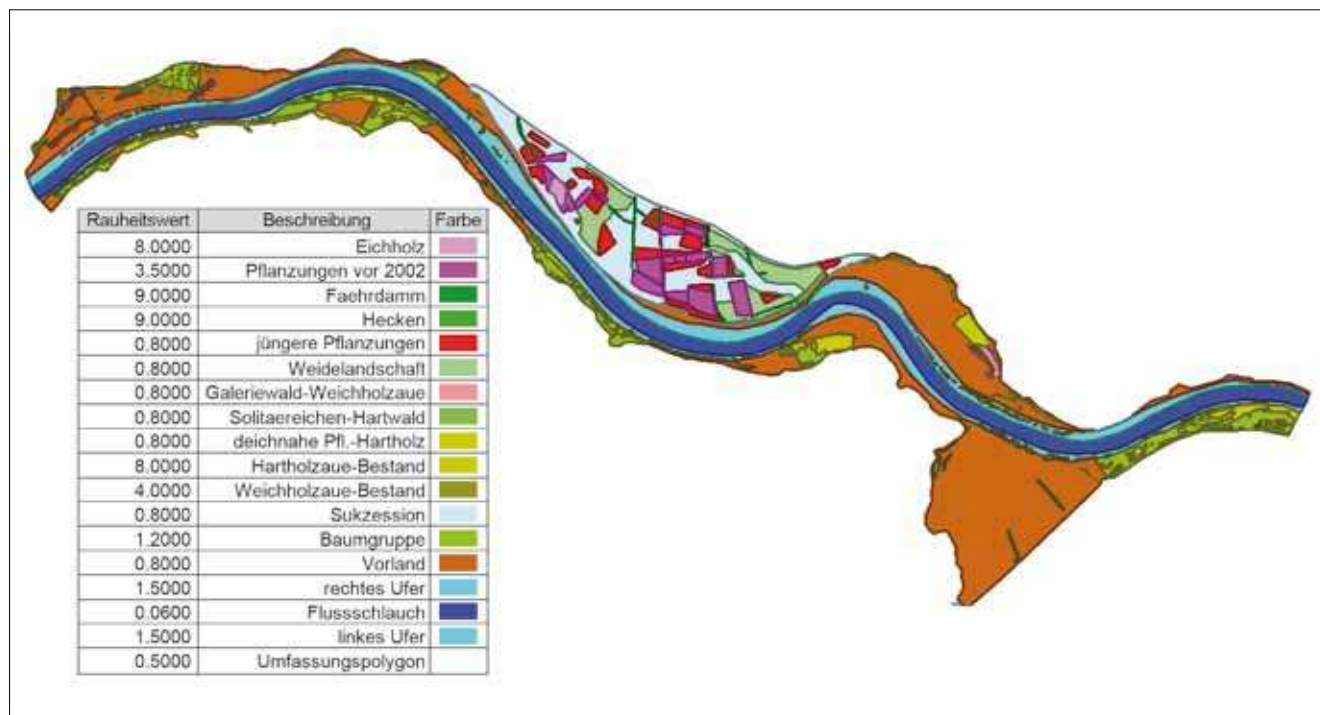


Bild 4: Im hydropnumerischen Modell definierte Rauheitszonen und zugeordnete Rauheitswerte [m]

Figure 4: Roughness zones defined in the hydrodynamic numerical model and associated roughness coefficients [m]

der vorgesehenen Pflanzungen zur Verfügung gestellt werden. Bild 4 zeigt einen Überblick über die im Modell definierten Rauheitszonen für den aktuellen Bewuchszustand.

Auf der Grundlage der Rauheitswerte erfolgte die Modellkalibrierung für ausufernde Wasserstände. Dabei blieben die im Zuge der Mittel- und Niedrigwasserkalibrierung festgelegten Rauheitswerte für das Flussbett und die Uferbereiche unverändert. Keine Berücksichtigung fand bei den Berechnungen natürlich das zum Zeitpunkt der Fixierungen nicht vorhandene und damit nicht abflusswirksame Deichrückverlegungsgebiet.

Der in Bild 5 dargestellte Vergleich zwischen den berechneten und den gemessenen Wasserspiegellagen zeigt auch für den Hochwasserbereich eine gute Übereinstimmung. Die maximalen Abweichungen liegen im 10 cm-Bereich.

Zu beachten ist bei diesen Berechnungen, dass bei überströmten Vorländern die jahreszeitliche Ausprägung der Vegetation, welche im Modell nicht berücksichtigt wurde, einen starken Einfluss auf die Hochwasserspiegellagen und speziell im Deichrückverlegungsgebiet auch auf die Ein- und Ausströmvorgänge hat.

Am Modelleinlauf liegen die für Hochwasserabflüsse berechneten Wasserspiegel regelmäßig unter den Fixierungswasserständen. Ursache ist die durch das Modellverfahren vorgegebene gleichmäßige Verteilung des zuströmenden Wassers auf den gesamten Querschnitt. Dadurch strömt am oberstromigen Rand des Modells zunächst zuviel Wasser über die Vorländer und zuwenig durch den Flussschlauch, wodurch in Strommitte ein zu niedriger Wasserspiegel berechnet wird. Nach einigen hundert Metern stellt sich durch das in den Flussschlauch zurückströmende Wasser ein gleichmäßiges Strömungsprofil ein und der Wasserspiegel im Flussschlauch steigt auf einen realen Wert an. Dieser Effekt tritt am stärksten bei gerade ausufernden Abflüssen auf und nimmt mit zunehmendem Wasserstand wieder ab. In solchen An- und Abströmbereichen werden die Modellergebnisse nicht bewertet.

Zur Validierung dieses über das gesamte Abflussspektrum geeichten Modells wurden weitere, nicht für die Kalibrierung verwendete Abflussereignisse nachgerechnet. Der in Bild 6 dargestellte Vergleich zwischen den berechneten und den gemessenen Wasserspiegellagen zeigt auch hier eine gute Übereinstimmung. Alle Fixierungen lagen zeitlich vor der Ende 2009 vollendeten Deichrückverlegung.

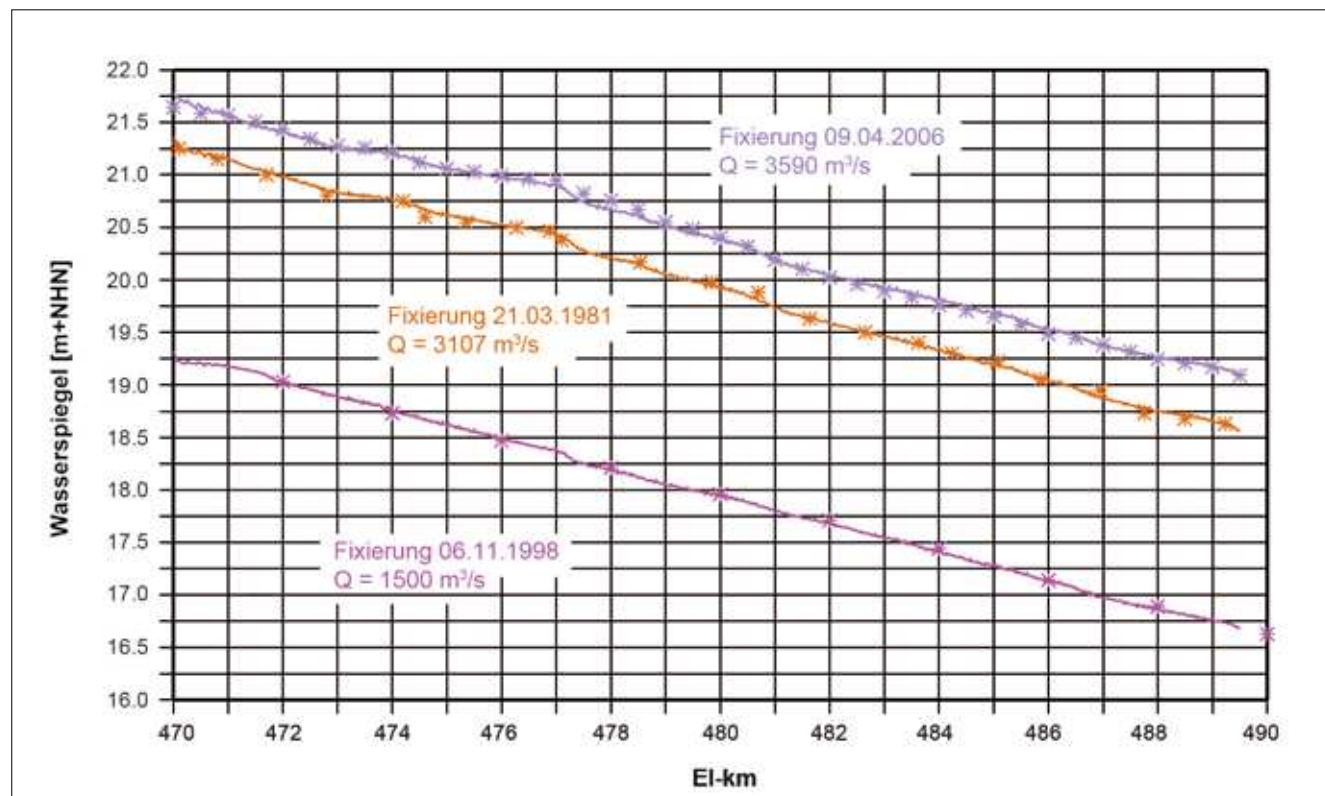


Bild 5: Modellkalibrierung für den Hochwasserbereich

Figure 5: Model calibration for high water levels

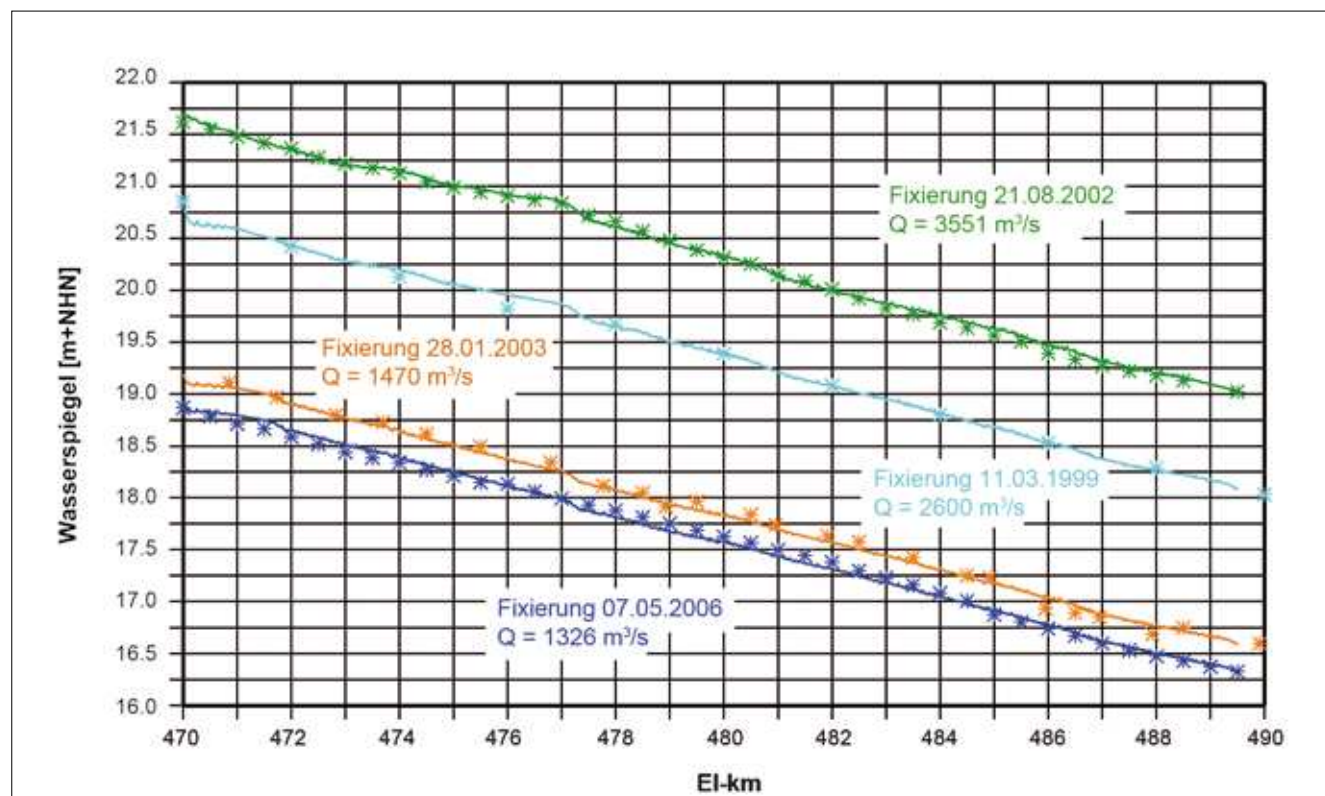


Bild 6: Modellvalidierung für verschiedene Abflussereignisse

Figure 6: Model validation for different discharges

4 Prognoserechnungen für die Deichrückverlegung

Forecast calculations for the dike relocation

4.1 Zustand 2009

Situation in 2009

Mit der 2009 erfolgten Schlitzung des alten Hochwasserdeiches wird das durch einen neuen Hochwasserdeich begrenzte Vorland zwischen El-km 476,7 und 483,7 abflusswirksam. Zur Simulation des durch den aktuellen Bewuchszustand hervorgerufenen Fließwiderstandes wurden die in Bild 4 dargestellten Rauheitszonen mit den dort aufgeführten Rauheitswerten belegt. Bild 7 zeigt die für einen Abfluss von $HQ(100) = 4.020 \text{ m}^3/\text{s}$ berechneten Strömungsvektoren.

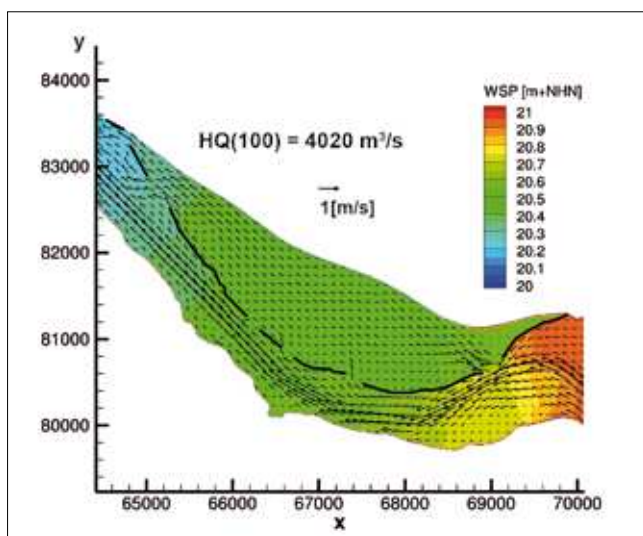


Bild 7: Strömungsvektoren bei einem Abfluss von $HQ(100) = 4.020 \text{ m}^3/\text{s}$

Figure 7: Flow vectors at a high-water discharge of $HQ(100) = 4.020 \text{ m}^3/\text{s}$

Bild 8 zeigt die berechneten Wasserspiegellagen in der Stromachse für die Zustände ohne und mit Deichrückverlegung. Durch die Vergrößerung der Abflussflächen kommt es infolge der Deichrückverlegung bei Hochwasserereignissen zu einer deutlichen Absenkung der Wasserspiegellagen. Für ein 100-jährliches Hochwasser mit einem Abfluss von $4.020 \text{ m}^3/\text{s}$ beträgt der Abfall des Wasserspiegels maximal 0,35 m am ersten Einlaufschlitz (Schlitz 1) und erreicht an der oberstromigen Modellgrenze bei El-km 470,0 immer noch einen Wert von 0,2 m. Am unterstromigen Rand des Deichrückverlegungsgebietes ergibt sich gegenüber dem Zustand

ohne rückverlegten Hochwasserdeich ein Wasserspiegelanstieg von maximal 0,06 m im Bereich El-km 483. Die Ursache für diese lokale Erhöhung des Hochwasserspiegels liegt darin begründet, dass ca. 85 % des über das Deichrückverlegungsgebiet abgeführten Abflusses von $1.385 \text{ m}^3/\text{s}$ auf relativ engem Raum durch die Schlitz 5 und 6 wieder in den Hauptstrom gelangen. Im Vergleich zum Zustand ohne Rückdeichung wird aber im Flussschlauch deutlich weniger Wasser abgeführt ($-1.170 \text{ m}^3/\text{s}$), sodass dort auch geringere Fließgeschwindigkeiten herrschen. Mit dem lokal durch die Schlitz 5 und 6 aus dem Rückdeichungsgebiet zuströmenden Wasser steigt der Abfluss plötzlich wieder auf $4.020 \text{ m}^3/\text{s}$ an. Die zusätzliche Wassermenge kann wegen der geringeren Fließgeschwindigkeit zunächst nur über eine Vergrößerung des Fließquerschnittes und damit die Erhöhung der Wasserspiegellagen abgeführt werden. Erst nach einer Beschleunigung der Strömung über das durch den Aufstau hervorgerufene stärkere Wasserspiegelgefälle werden die ursprünglichen Wasserstände unterhalb des Rückdeichungsgebietes schließlich wieder erreicht.

Bild 9 zeigt eine flächenhafte Darstellung der Wasserspiegeldifferenzen für die Varianten ohne und mit Deichrückverlegung für den Bewuchszustand 2009. Im Vergleich zu der in Flussmitte ermittelten Wasserspiegeldifferenz (Bild 8) zeigen sich hier im Nahbereich der Schlitzte noch etwas größere Wasserspiegeldifferenzen. Im Bereich des linken Hochwasserdeiches wird der maximale Wasserspiegellagenanstieg von 0,06 m nicht überschritten.

Gleichzeitig ergibt sich im Nahbereich des ersten Schlitzes ein im Vergleich zum Zustand ohne Deichrückverlegung wesentlich größerer Wasserspiegelabsenk als in Flussmitte. Hier liegt die Ursache in den relativ hohen Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich des Schlitzes in der Größenordnung von mehr als 1,4 m/s, sodass hier niedrige Wassertiefen zu verzeichnen sind.

Bild 10 zeigt eine flächenhafte Darstellung der Wasserspiegellagen für das Modell mit rückverlegtem Hochwasserdeich für ein hundertjährliches Hochwasser ($HQ_{100} = 4.020 \text{ m}^3/\text{s}$). In dem im Bild 10 nicht dargestellten oberstromigen Bereich liegen die Wasserspiegel im Deichrückverlegungsgebiet niedriger als im Flussschlauch, sodass das Wasser in das neu geschaffene Vorland einströmt. Ab etwa El-km 480,5 kehrt sich

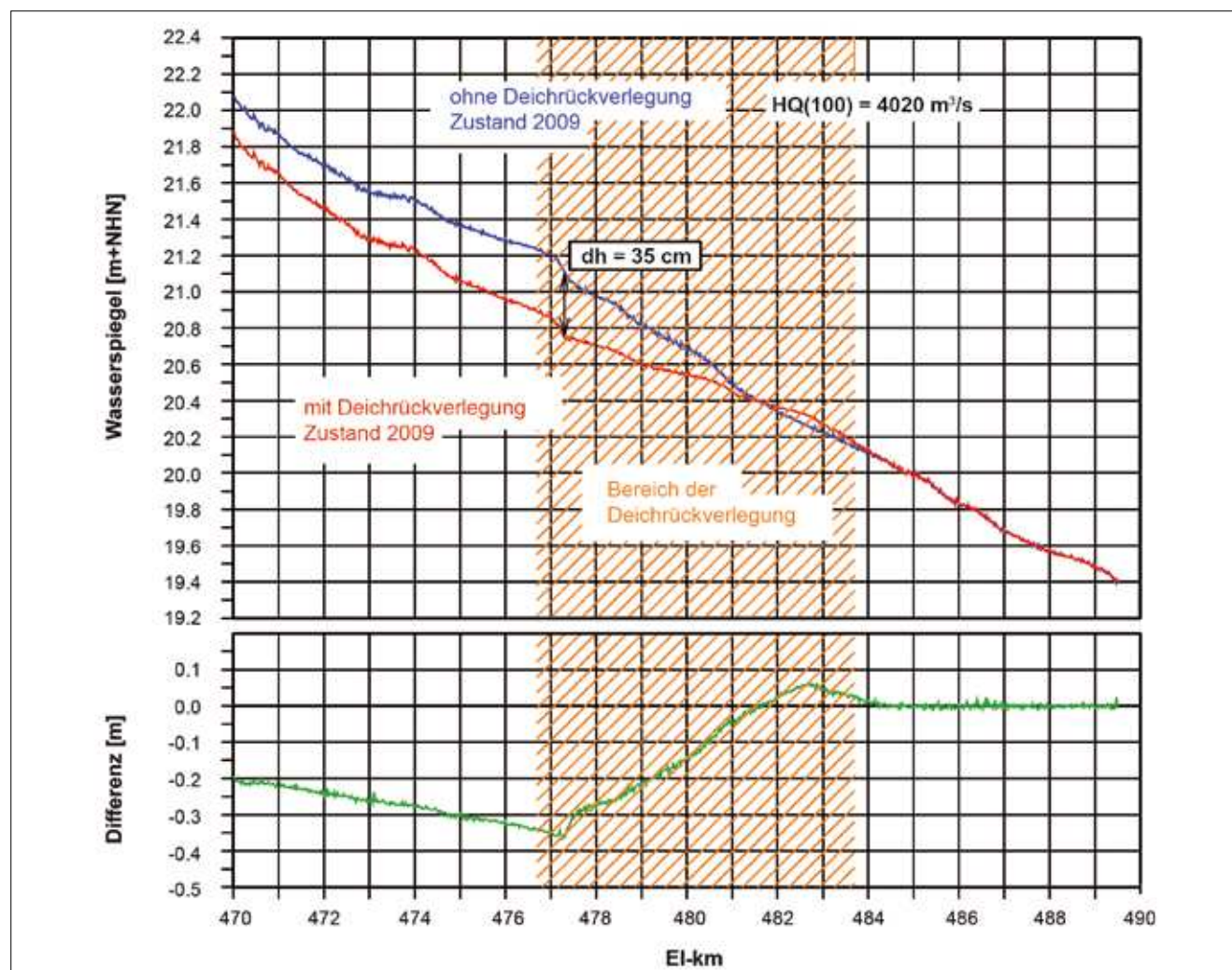


Bild 8: Wasserspiegellagen in der Flussachse mit und ohne Deichrückverlegung für den Bewuchszustand 2009 bei einem Abfluss von $HQ_{100} = 4.020 \text{ m}^3/\text{s}$

Figure 8: Water levels in the stream centerline with and without dike relocation for the vegetative stand in 2009 at a discharge of $HQ_{100} = 4,020 \text{ m}^3/\text{s}$

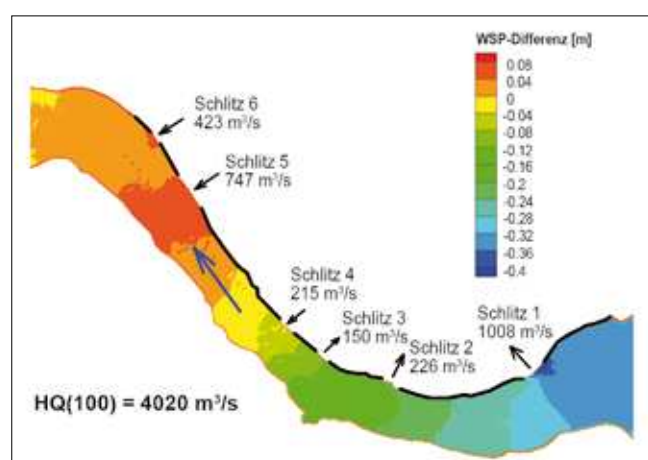


Bild 9: Flächenhafte Darstellung der Wasserspiegeldifferenzen für das $HQ(100)$ zwischen den Varianten mit und ohne Deichrückverlegung für den Bewuchszustand 2009

Figure 9: Extensive plot of water level differences for $HQ(100)$ between the scenarios with and without dike relocation for the vegetative stand in 2009

dieses Verhältnis um. Durch das sich verengende Vorland kann das hauptsächlich durch den Schlitz 1 in das Vorland eingeströmte Wasser nur mit höheren Fließgeschwindigkeiten über die Schlitz 5 und 6 wieder dem Hauptstrom zugeführt werden. Deshalb muss sich ein stärkeres Gefälle in diesem Bereich einstellen, was zu einem entsprechenden Rückstau im unterstromigen Bereich des Deichrückverlegungsgebietes führt. Zur Verringerung dieser Wasserspiegelanhebung müsste die Größe der Schlitz und ggf. das Vorlandrelief (Flutmulden) modifiziert werden.

Zusätzlich sind in Bild 10 die Wasserspiegelquerschnitte am El-km 481,8 für die Varianten mit und ohne Deichrückverlegung dargestellt. Der sich auf Grund des lokal konzentrierten Zustroms des Wassers durch die Schlitz 5 und 6 im Hauptstrom bildende Rückstau (0,06 m

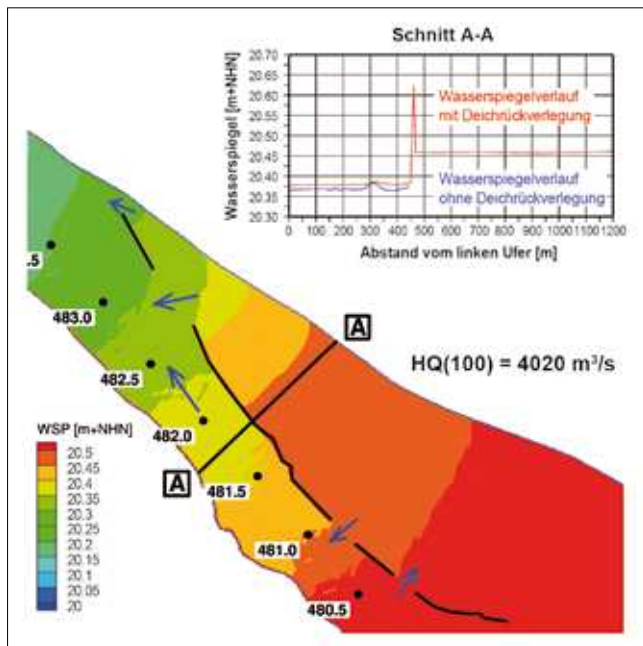


Bild 10: Wasserspiegellagen für HQ(100) (Zustand 2009) im unterstromigen Bereich des Deichrückverlegungsgebietes mit Wasserspiegelquerprofilen am El-km 481,8

Figure 10: Water surface profiles for HQ(100) (vegetative stand in 2009) in the downstream part of the dike relocation area with water level cross-profiles on Elbe kilometer 481,8

am El-km 483) wird bis zu dieser Stelle weitgehend abgebaut und erreicht noch etwa 0,02 m. Ein deutlicher Unterschied besteht zwischen den Wasserspiegellagen im Hauptstrom und im rückgedeichten Vorland. Die Differenz beträgt ca. 0,08 m. Im Vergleich zum Zustand vor der Deichrückverlegung liegt der Wasserspiegel am El-km 481,8 sogar um ca. 0,10 m höher. Das ist die Differenz zwischen den Wasserspiegellagen im alten Flussbett vor und im neuen Vorland nach der Rückdeichung.

Der durch die Rückdeichung bedingte Anstieg der Hochwasserspiegel im Flussschlauch im Bereich der Schlitze 5 und 6 ließe sich durch eine Vergleichmäßigung der in das und aus dem Vorland strömenden Wassermengen verringern. Die beste Wirkung hinsichtlich der Absenkung der Hochwasserspiegellagen würde man allerdings durch einen Abtrag des Altdeiches bis auf eine Höhe, welche die Überströmung ab einem Abfluss von ca. 1400 m³/s zulassen würde, erreichen.

4.2 Simulation verschiedener Bewuchsszenarien für die Jahre 2030 und 2090 *Simulation of different vegetation growth scenarios for 2030 and 2090*

Der Einfluss der verschiedenen Bewuchsszenarien auf die Hochwasserspiegellagen wurde für einen Hochwasserabfluss von $HQ_{100} = 4.020 \text{ m}^3/\text{s}$ untersucht. Das erste Szenario bezieht sich auf das Jahr 2030 und beruht auf der Annahme, dass keine weiteren Anpflanzungen im Lütkenwischer und Mödlicher Werder erfolgen. Der Fließwiderstand erhöht sich hierbei trotzdem durch die bereits im Rückdeichungsgebiet angelegten, sich weiter entwickelnden Pflanzungen. Ein zweites Szenario umfasst zusätzlich die Ausführung der im Lütkenwischer und Mödlicher Werder geplanten linearen Galeriewald- und deichnahen Auwaldpflanzungen sowie die Pflanzung verstreuter Baumgruppen im Mödlicher Werder. Das dritte Szenario bildet schließlich die Weiterentwicklung der im zweiten Szenario berücksichtigten Pflanzbereiche sowie der Sukzessionsflächen bis zum Jahr 2090 ab.

Die Simulation der durch die verschiedenen Bewuchsszenarien verursachten Fließwiderstände erfolgte auf der Grundlage der in der Tabelle 3 zusammengestellten Rauheitswerte, welche den in Bild 4 dargestellten Rauheitszonen zugewiesen wurden. Diese Rauheitswerte sind aus den in Tabelle 2 dargestellten Werten abgeleitet worden.

Bild 11 zeigt die für die verschiedenen Szenarien für einen Abfluss von $HQ(100) = 4.020 \text{ m}^3/\text{s}$ berechneten Wasserspiegellagen. Im Bereich unterhalb des Deichrückverlegungsgebietes wirkt sich der durch die Pflanzungen hervorgerufene zusätzliche Fließwiderstand positiv auf die sich einstellenden Hochwasserspiegellagen aus. Der durch die Deichrückverlegung verursachte Aufstau im Bereich der Schlitze 5 und 6 wird etwas geringer, weil durch den größeren Fließwiderstand im rückgedeichten Gebiet weniger Wasser über das Vorland strömt. Außerdem wird der Schlitz 4 stärker durchströmt, sodass sich das in den Hauptstrom zurückströmende Wasser besser verteilt.

Die im Mödlicher und im Lütkenwischer Werder geplanten Pflanzungen haben praktisch keinen Einfluss auf die sich einstellenden Wasserspiegellagen. In der Grafik wird deshalb die magentafarbene Linie auch fast vollständig von der grünen Linie überdeckt.

Szenario – Nr.	0	1	2	3
Name	2009	2030: ohne Anpflanzungen in den Werdern	2030 mit allen geplanten Anpflanzungen	2090 mit allen geplanten Anpflanzungen
	k_s [m]	k_s [m]	k_s [m]	k_s [m]
Eichholz	8	8	8	8
Pflanzungen vor 2002	3.5	6	6	8
Fährdamm	9	9	9	9
Hecken	9	9	9	9
Jüngere Pflanzungen	0.8	5	5	8
Weidelandschaft	0.8	0.8	0.8	0.8
Galeriewald-Weichholzaue	0.8	0.8	3	4
Solitaereichen-Hartholz Solitär	0.8	0.8	5	8
Deichnahe Pflanzen-Hartholz	0.8	0.8	5	8
Hartholzaue-Bestand	8	8	8	8
Weichholzaue-Bestand	4	4	4	4
Sukzession	0.8	2.5	2.5	8
Baumgruppe	1.2	1.2	1.2	1.2
Vorland	0.8	0.8	0.8	0.8
Rechtes Ufer	1.5	1.5	1.5	1.5
Flussschlauch	0.06	0.06	0.06	0.06
Linkes Ufer	1.5	1.5	1.5	1.5
Umfassungspolygon	0.8	0.8	0.8	0.8

Deichrückverlegungsgebiet	übrige Flächen
geplante Pflanzungen in den Werdern	Bestand
Bewuchs im Vorland	Planung/Entwicklung

Tabelle 3: Den Bewuchsszenarien zugeordnete Rauheitswerte für die im Modell definierten Rauheitszonen

Table 3: Roughness coefficients associated with the vegetation growth scenarios for the roughness areas defined in the model

Bild 12 zeigt dazu eine flächenhafte Darstellung der Wasserspiegeldifferenzen sowie der durch die Schlitze ein- und ausströmenden Wassermengen. Verglichen wurden hier die Zustände der Jahre 2009 und 2030 mit allen im Deichrückverlegungsgebiet sowie dem Lütkenwischer und Mödlicher Werder geplanten Pflanzungen. Im Vergleich zu der Darstellung der Wasserspiegeldifferenzen in Flussmitte zeigt sich hier, dass es für den Zustand im Jahr 2030 zu stärkeren lokalen Wasserspiegelanhebungen im unmittelbaren Bereich der Pflanzungen kommt. So kann dieser lokale Anstieg des Wasserspiegels im Bereich des Deichrückverlegungsgebietes bis zu 0,06 m betragen. Damit liegt der Wasserspiegel aber immer noch deutlich unter dem Wert für den Zustand ohne Rückdeichung.

Die maximalen Änderungen treten im Jahr 2090 auf, wenn sich die Vegetation voll entwickelt hat. Hier ergeben sich bei einem hundertjährigen Hochwasser Wasserspiegelanhebungen im Bereich des Deichrückverlegungsgebietes von bis zu 12 cm (Bild 13). Da sich der durch die Deichrückverlegung bedingte Wasserspiegelverfall in diesen Bereichen am stärksten auswirkt, ergibt sich im Vergleich zum Zustand ohne Rückdeichung immer noch eine deutliche Reduzierung der Hochwasserspiegellagen in der Größenordnung von 0,25 m.

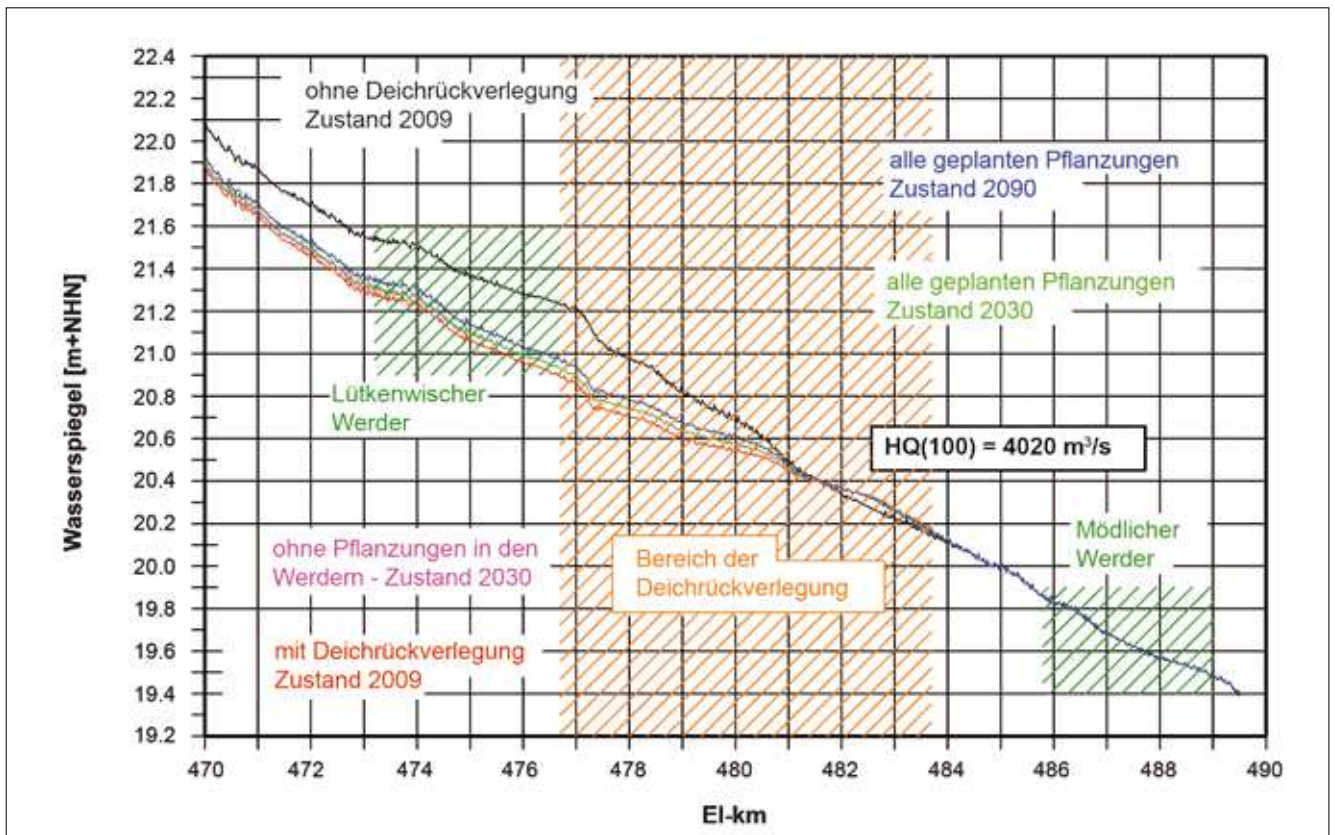


Bild 11: Wasserspiegellagen in der Flussmitte für die Zustände ohne und mit Deichrückverlegung sowie verschiedene Bewuchsszenarien für ein HQ(100)

Figure 11: Water surface elevations in the mid-stream for scenarios with and without dike relocation and different vegetation growth scenarios for an HQ(100)

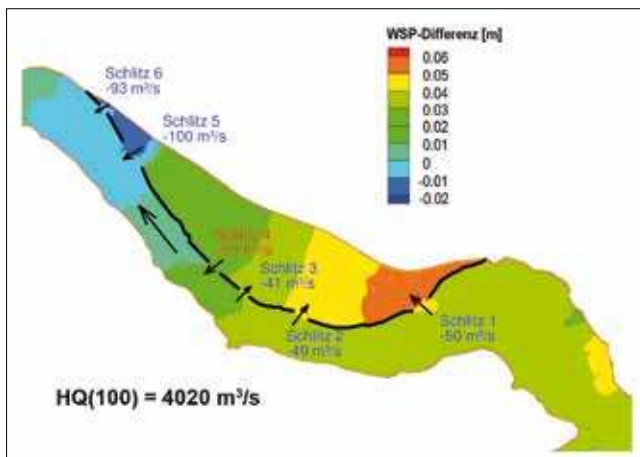


Bild 12: Differenzen der Wasserspiegel und der in das Deichrückverlegungsgebiet ein- und ausströmenden Wassermengen zwischen den Bewuchszuständen der Jahre 2009 und 2030 mit allen geplanten Pflanzungen für ein HQ(100)

Figure 12: Differences between the water levels and the inflowing and outflowing volume of water in the dike relocation area in the period between the vegetative stand in 2009 and 2030, including all projected plantations, for an HQ(100)

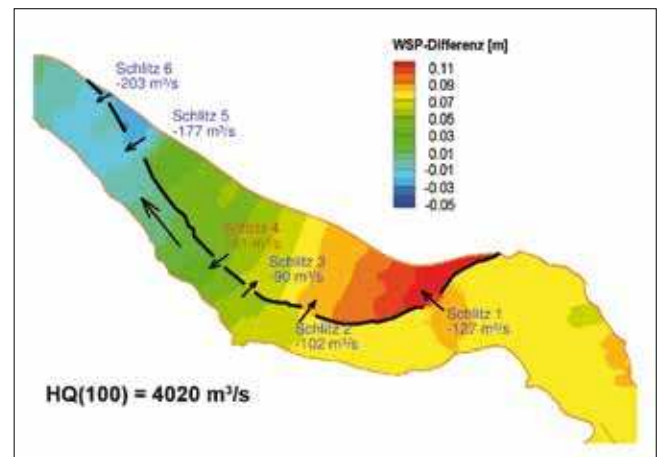


Bild 13: Differenzen der Wasserspiegel und der in das Deichrückverlegungsgebiet ein- und ausströmenden Wassermengen zwischen den Bewuchszuständen der Jahre 2009 und 2090 mit allen geplanten Pflanzungen für ein HQ(100)

Figure 13: Differences between the water levels and the inflowing and outflowing volume of water in the dike relocation area in the period between the vegetative stand in 2009 and 2090, including all projected plantations, for an HQ(100)

5 Modellvalidierung anhand aktueller Naturmessungen

Model validation based on current field measurements

5.1 Überblick

Overview

Nach dem Ende des Jahres 2009 vollendeten Baumaßnahmen ist das rückgedeichte Vorland erstmals im März 2010 durchströmt worden. Dieses sowie das Hochwasserereignis vom Oktober 2010 hat die BAW zum Anlass genommen, die Firma Schmid mit der Durchführung von Wasserspiegelfixierungen und Durchflusssmessungen zu beauftragen (Ingenieurbüro Schmid, Mai 2010 bzw. November 2010). Weitere Messungen wurden während des Hochwassers vom Januar 2011 durchgeführt (Ingenieurbüro Schmid, 2011). Außerdem sind über einen längeren Zeitraum Wasserstandsmessungen an drei Messstellen im Deichrückverlegungsgebiet sowie an einer oberstromig gelegenen Messstelle im Lütkenwischer Werder durchgeführt worden. Die so erhobenen Naturdaten (siehe Beitrag von Faulhaber in diesem Heft) boten die Möglichkeit, das numerische Modell zu validieren.

5.2 Hochwasser vom März 2010

Flood in March 2010

Anlässlich eines Hochwassers im März 2010 wurden von der Firma Schmid Sondermessungen im Bereich El-km 432 bis 490 durchgeführt (Ingenieurbüro Schmid, März 2010). Damit standen die ersten Naturmessungen nach der Ende des Jahres 2009 beendeten Deichrückverlegung für eine Modellvalidierung zur Verfügung. Neben der Wasserspiegelfixierung vom 7. März 2010 und den Abflusssmessungen in der Elbe selbst wurden am 8. März 2010 Durchflusssmessungen in den Schlitten des Altdeiches (Zu- und Ablauf des Rückdeichungsgebietes) und in einem Profil unterhalb des Fährdamms (Rüster Drift) durchgeführt (siehe Beitrag von Schmid und Niesler in diesem Heft).

Bild 14 zeigt einen Vergleich zwischen den am 7. März 2010 gemessenen und den mit dem kalibrierten Modell ermittelten Wasserspiegellagen. Die Berechnungen wurden mit dem am 14 km oberhalb der Modellstrecke

gelegenen Pegel Wittenberge (El-km 456,6) registrierten Abfluss (Tagesmittelwert) von 1.760 m³/s durchgeführt. Weil zwischen dem 7. März (Wasserspiegelfixierung) und dem 8. März (Abflusssmessungen in den Schlitten) der Hochwasserscheitel durch das Modellgebiet gelaufen ist, traten in diesem Zeitraum nur geringe Abflussänderungen auf, was auch durch die am unterhalb der Modellstrecke gelegenen Pegel Neu-Darchau (El-km 536,2) registrierten Abflüsse bestätigt wurde. Die am 7. März von der Fa. Schmid durchgeführten Durchflusssmessungen bei El-km 484,6 wiesen im Vergleich zu den an den Pegeln Wittenberge und Neu-Darchau registrierten Werten einen um ca. 130 m³/s niedrigeren Abfluss aus, was im Bereich der üblichen Messungenauigkeiten liegt.

Bis auf die bereits beschriebenen modelltechnisch bedingten Abweichungen am oberen Modellrand gibt es eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messung. Neben der nach der Deichrückverlegung erfolgten Fixierung vom März 2010 werden zum Vergleich die mit dem kalibrierten Modell berechneten Wasserspiegellagen für den Zustand vor der Deichrückverlegung dargestellt. Hier ist deutlich die wasserspiegelsenkende Wirkung der Maßnahme in einer Größenordnung von etwa 18 cm im Bereich des ersten Schlittes bei El-km 477,3 zu erkennen.

Bild 15 zeigt einen Vergleich zwischen den berechneten und gemessenen Durchflüssen in den Schlitten und über dem Fährdamm. Prinzipiell werden für die drei Einlaufschlitze etwas größere Wassermengen berechnet, wobei für den zweiten Schlitz bei El-km 479 keine Messwerte vorhanden waren, sodass der Wert ($Q_{\text{Bil}} = 24 \text{ m}^3/\text{s}$) über eine Bilanzierung der ein- und ausströmenden Wassermengen ermittelt wurde. Im Bereich des ersten Schlittes, durch den das meiste Wasser in das Vorland strömt, lagerten zum Zeitpunkt des Hochwassers Paletten mit Pflastersteinen, welche den Zufluss in den Schlitz beeinflussten. Die Berechnungen ergaben für den Schlitz 5 größere und für den Schlitz 6 geringere ausfließende Wassermengen als die Messungen.

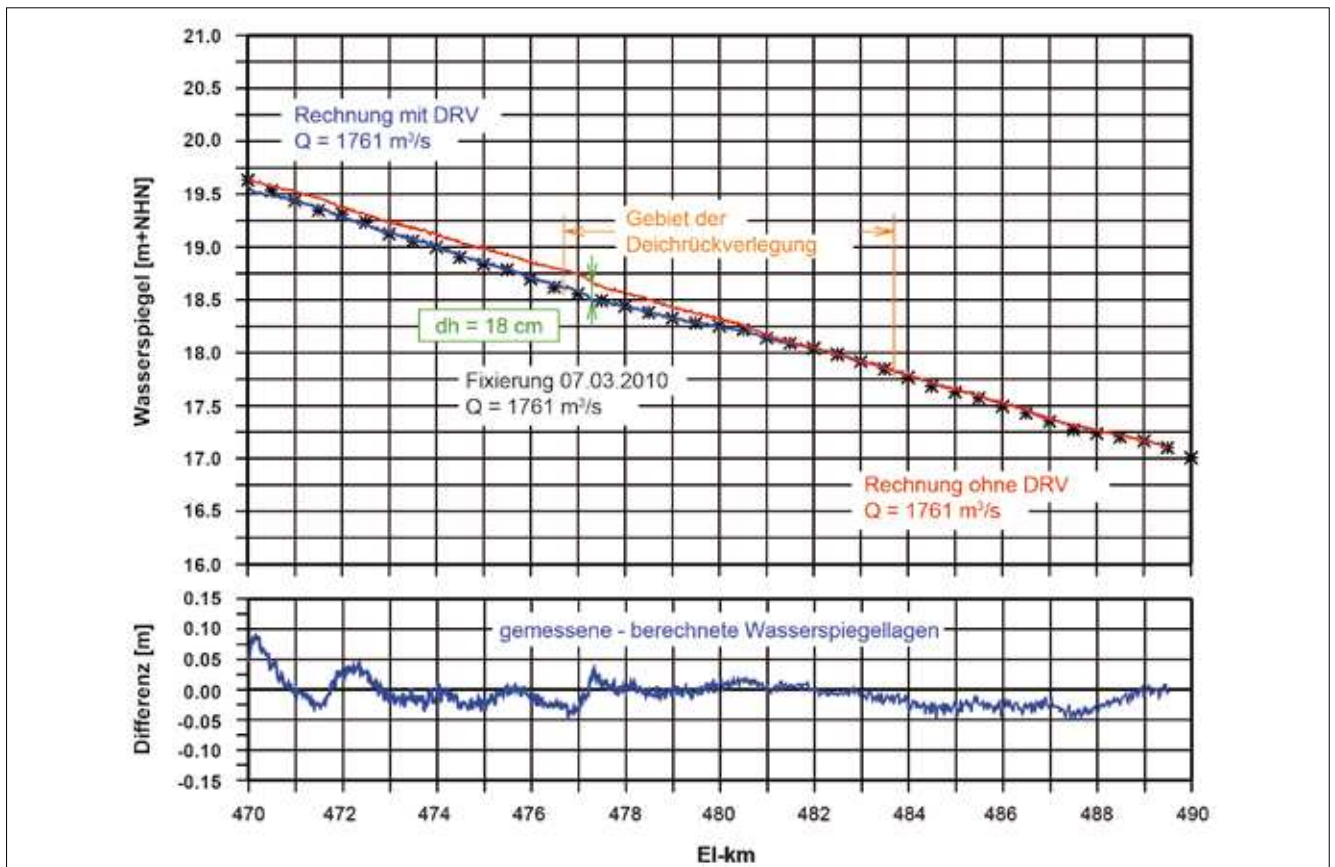


Bild 14: Modellvalidierung: Im März 2010 gemessene (*) und berechnete Wasserspiegellagen für ein Abflussereignis nach erfolgter Deichrückverlegung im Vergleich mit Berechnungen für das Szenario ohne Deichrückverlegung

Figure 14: Model validation: water surface profiles measured (*) and calculated for a discharge in March 2010 after completion of the dike relocation in comparison to calculations for the scenario without dike relocation

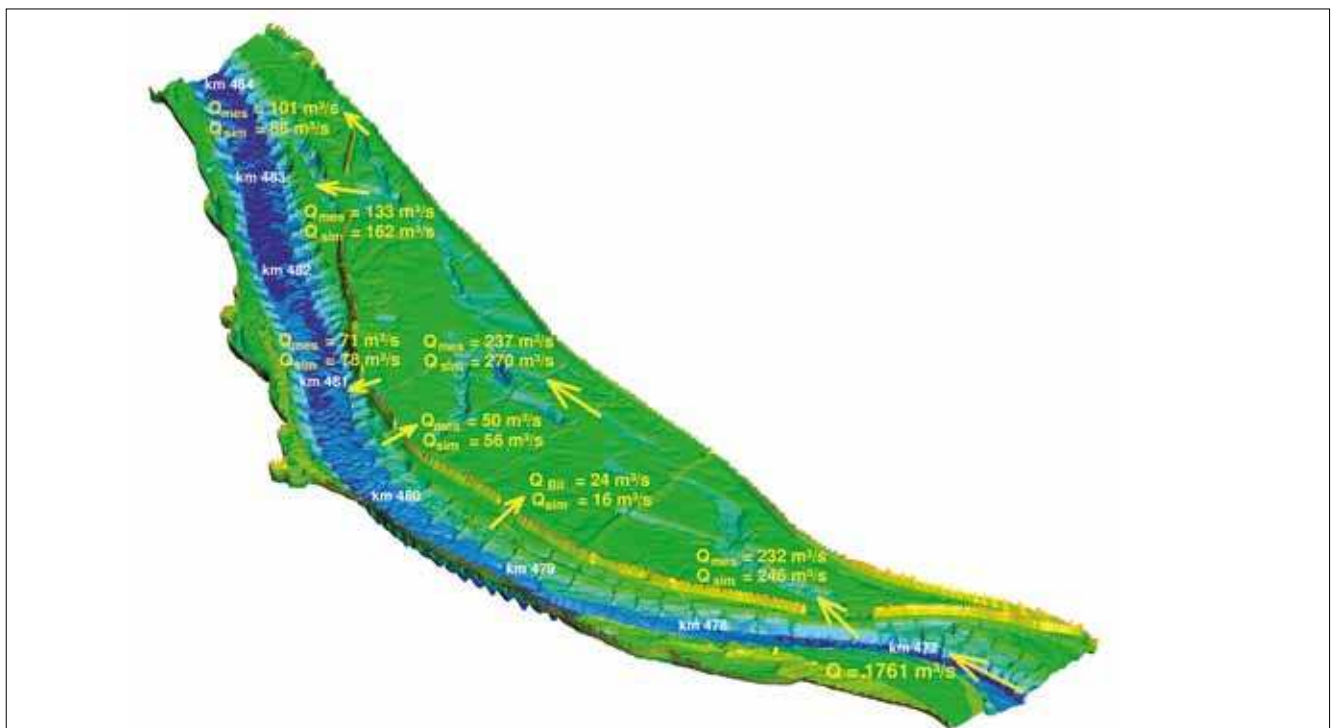


Bild 15: Für das Abflussereignis im März 2010 gemessene und berechnete Abflüsse durch die Schlitzte und über das rückgedeichte Vorland

Figure 15: Discharges through the slots and across the overbank area (with relocated dike) calculated and measured in March 2010

5.3 Hochwasser vom Oktober 2010

Flood in October 2010

Die im Oktober durchgeführten Fixierungen (Ingenieurbüro Schmid, November 2010) erfassten nur einen Teil der Untersuchungsstrecke. Bild 16 zeigt einen Vergleich zwischen den am 8. Oktober 2010 fixierten Wasserspiegellagen im Bereich El-km 481,7 bis 484,6 und den Simulationsergebnissen für einen Abfluss von $2.035 \text{ m}^3/\text{s}$. Auch hier ergibt sich, wie schon bei den Messungen vom März 2010, eine gute Übereinstimmung zwischen den berechneten und den beobachteten Wasserspiegellagen.

Bild 17 zeigt analog zu der Darstellung in Bild 15 eine Gegenüberstellung der berechneten und gemessenen Abflüsse durch die Schlitze und über das rückgedeichte Vorland. Auch hier ergibt sich bis auf den Schlitze 2 eine

gute Übereinstimmung zwischen den beobachteten und gemessenen Werten. Der Schlitze 2 war im Oktober stark zugewachsen, sodass die Abflussmessungen erschwert wurden und die Ergebnisse stark schwankten. Ein Vergleich mit den Messungen vom März ist nicht möglich, da wegen der geringeren Wasserstände im März keine Messungen im Schlitze 2 durchgeführt werden konnten.

Nach Auskunft der Firma Schmid war es auch nach Augenschein so, dass nur sehr wenig Wasser in den Schlitze 2 strömt. Außerdem waren die Messungen durch den Bewuchs tatsächlich stark behindert. Für zukünftige Untersuchungen erscheint es deshalb sinnvoll, die örtlichen Gegebenheiten im Schlitze 2 nochmals näher zu betrachten.

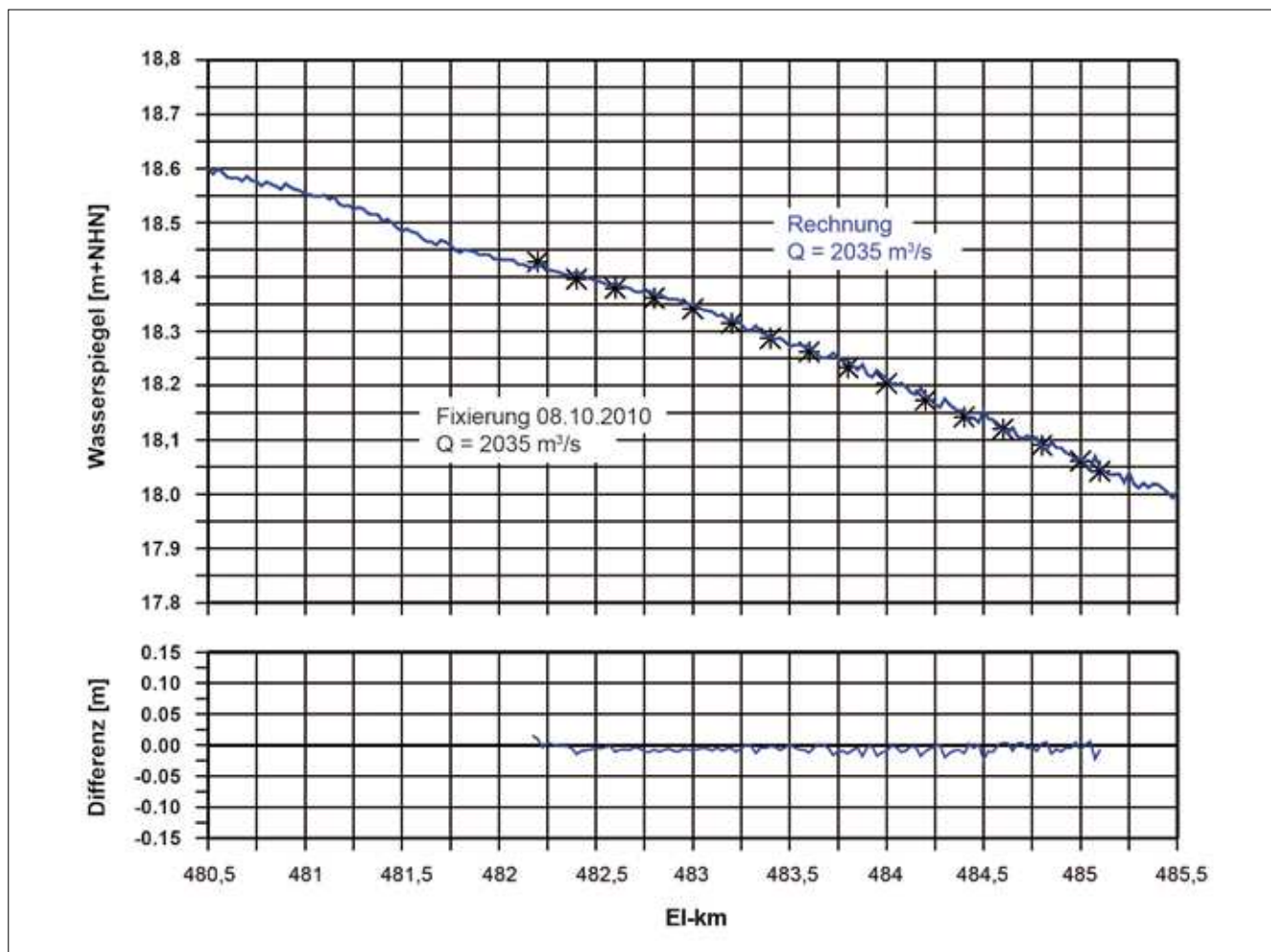


Bild 16: Modellvalidierung: Im Oktober 2010 gemessene (*) und berechnete Wasserspiegellagen für ein Abflussereignis nach erfolgter Deichrückverlegung

Figure 16: Model validation: water surface profiles measured (*) and calculated in October 2010 for a discharge after completion of the dike relocation

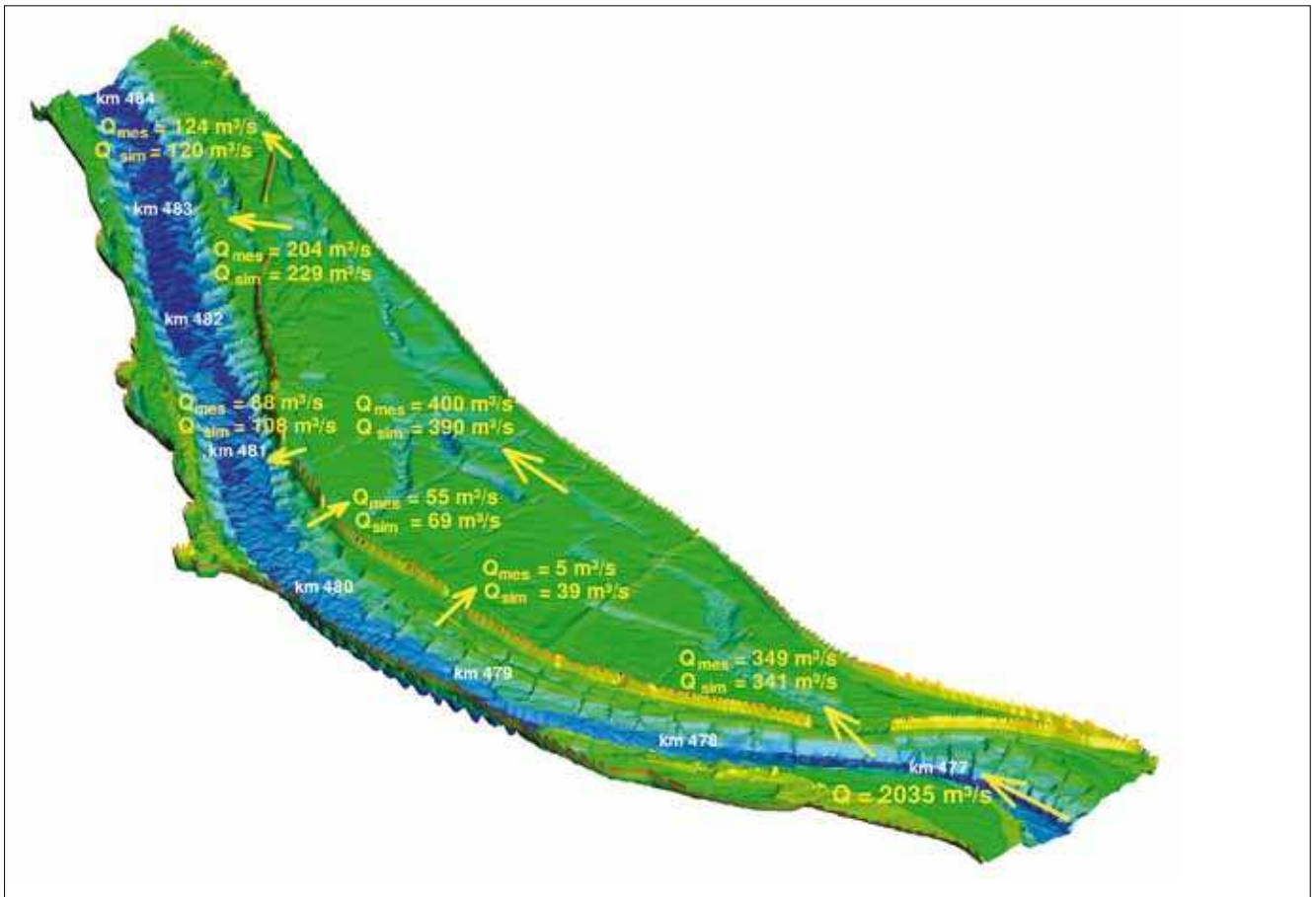


Bild 17: Berechnete und im Oktober 2010 gemessene Abflüsse durch die Schlitze und über das rückgedeichte Vorland
 Figure 17: Discharges through the slots and across the overbank area (with relocated dike) calculated and measured in October 2010

Der Unterschied zwischen den gemessenen (ca. 410 m³/s) und den gerechneten (ca. 450 m³/s), über das Vorland abfließenden Wassermengen ergibt sich vor allem aus den für die Schlitze 2 bis 5 bestehenden Durchflussdifferenzen. Hier wird empfohlen zu prüfen, inwieweit der Abfluss durch die Schlitze durch aufkommende Vegetation behindert wird und gegebenenfalls Pflegemaßnahmen zur Freihaltung der Schlitze und damit zur Gewährleistung der vorgesehenen Abflüsse zu ergreifen sind.

5.4 Hochwasser vom Januar 2011

Flood in January 2011

Im Januar kam es zu einem weiteren Hochwasserereignis mit einem Scheiteldurchfluss von 3.790 m³/s am Pegel Wittenberge. Zum Zeitpunkt der Modellvalidierung wurde der Scheitelwert noch mit 3.750 m³/s angenommen. Bild 18 zeigt einen Vergleich zwischen den am 24. Januar 2011 fixierten und den mit Hilfe des Modells für

einen Abfluss von 3.443 m³/s (Messung Schmid am 24. Januar 2011 bei El-km 482,7) berechneten Wasserspiegellagen. Außerdem sind die für diesen Abfluss berechneten Wasserstände für den früheren Zustand ohne den zurückverlegten Hochwasserdeich dargestellt. Die maximale Differenz beträgt in Höhe des ersten Einlaufschlitzes bei El-km 477,3 ca. 34 cm.

Die mit dem hydronumerischen Modell berechneten Wasserspiegellagen liegen durchgängig um durchschnittlich 5 cm höher als die gemessenen. Die Ursache dürfte in der zum Zeitpunkt des Hochwassers vorhandenen Wintervegetation liegen. Diese weist gegenüber der für die Kalibrierung des Modells zugrunde gelegten Sommervegetation einen geringeren Fließwiderstand auf. Damit ergeben sich im Winter bei gleichem Abfluss geringere Wasserspiegellagen.

Nach Ablauf des Hochwassers erfolgte eine Rekonstruktion des Scheitelwasserstandes am Brandenburger Elbedeich auf der Grundlage der Aufmessung

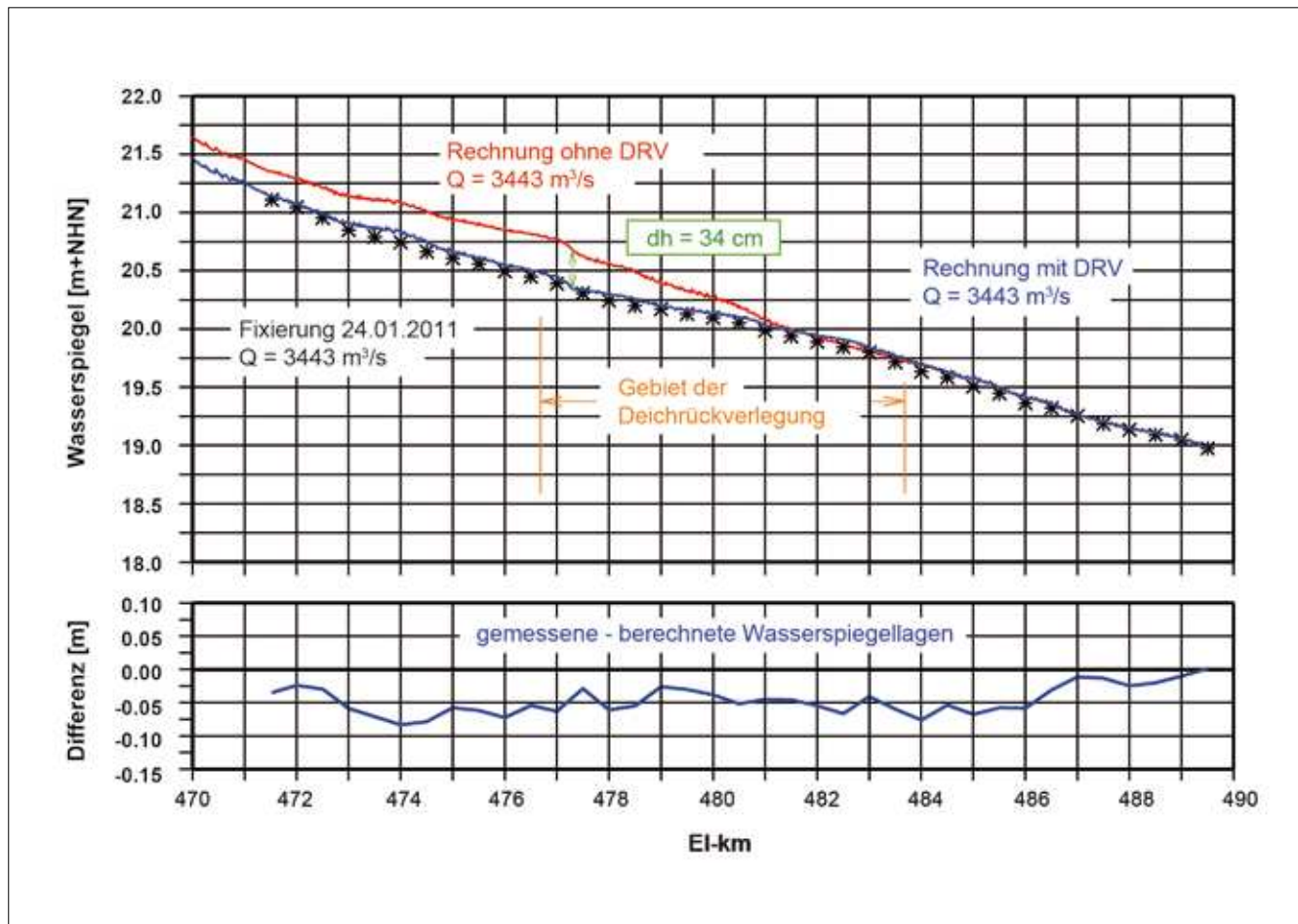


Bild 18: Modellvalidierung: Im Januar 2011 gemessene (*) und berechnete Wasserspiegellagen für ein Abflussereignis nach erfolgter Deichrückverlegung im Vergleich mit Berechnungen für das Szenario ohne Deichrückverlegung

Figure 18: Model validation: water surface profiles measured (*) and calculated in January 2011 for a discharge after completion of the dike relocation in comparison to calculations for the scenario without dike relocation

des Wasserspiegels am 22./23. Januar 2011 über die Geschwemmsellinie. Diese Vermessung wurde an Hand der Daten der Schreibpegel der WSV (www.pegelonline.wsv.de) auf die Höhe des Scheiteldurchganges angepasst (LUGV-Brandenburg et al., 2011). Damit ergab sich die Möglichkeit, die am rechten Deich berechneten Wasserstände, speziell auch im Bereich des rückgedeichten Vorlandes, mit Naturmessungen zu vergleichen. Bild 19 zeigt die bei dem Scheitelabfluss von $3750 \text{ m}^3/\text{s}$ am Deich berechneten und gemessenen Wasserstände sowie die für die Flussmitte mit dem Modell erhaltenen Wasserspiegellagen. Da die Fixierung im Flussschlauch erst am 24. Januar 2011 durchgeführt wurde (siehe auch Bild 18), liegen für den am 22. Januar 2011 aufgetretenen Scheitelabfluss keine Messwerte vor.

Das Diagramm zeigt die im Vergleich zum Flussschlauch erheblich niedrigeren Wasserspiegellagen im Vorland im Bereich des ersten Einströmschlitzes sowie die höheren Vorlandwasserstände im Rückströmungsbereich, wobei sich die Verhältnisse etwa bei EI-km 480,5 umkehren. Der Vergleich zwischen den am rechten brandenburgischen Deich berechneten und den gemessenen Wasserständen zeigt eine sehr gute Übereinstimmung.

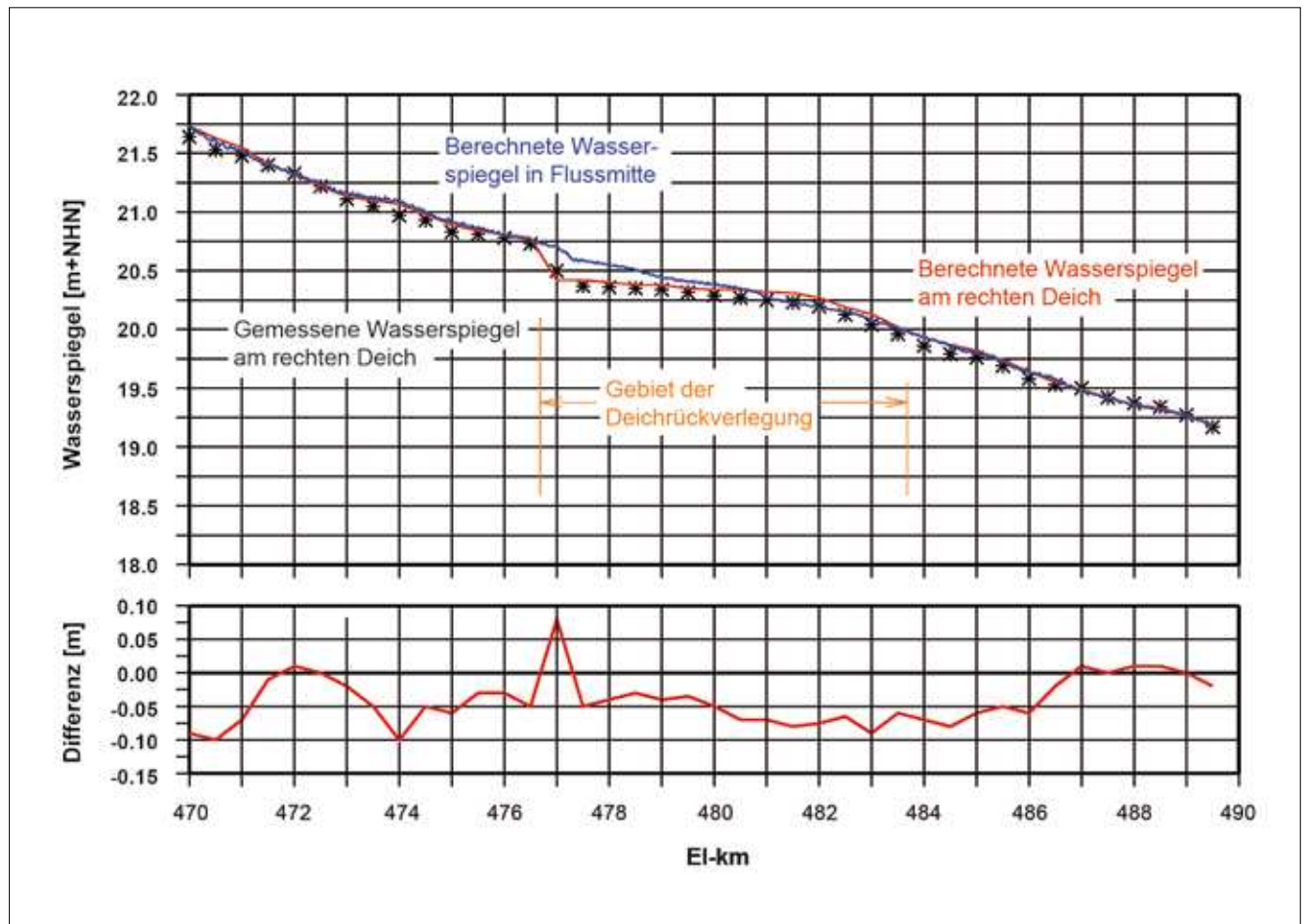


Bild 19: Modellvalidierung: Vergleich der nach dem Hochwasser vom Januar 2011 eingemessenen Geschwemmsellinie mit den für den Scheitelabfluss von $3.750 \text{ m}^3/\text{s}$ berechneten Wasserspiegellagen in Flussmitte

Figure 19: Model validation: comparison of debris line measured after the flood of January 2011 with the water surface elevations in the mid-stream for the peak discharge of $3,750 \text{ m}^3/\text{s}$

5.5 Modellvalidierung anhand von instationären Wasserstandsaufzeichnungen im Vorland

Model validation using non-stationary water level recording in the floodplain

5.5.1 Überblick Overview

In den Zeiträumen vom 24. Februar bis 12. Mai 2010 sowie vom 4. Juni bis 14. Juli 2010 erfolgten an den in Bild 20 dargestellten Orten Wasserstandsmessungen (Firma ELANA, 2010). Drei der vier Messstellen befanden sich im Bereich des Deichrückverlegungsgebietes. Der vierte Messpunkt lag am unterstromigen Rand des Lütkenwischer Werders. Neben der Messung der Wasserstände über der Geländehöhe wurde auch die Temperatur erfasst. Die Aufzeichnungen erfolgten stündlich.

Die hydrologische Randbedingung für die Simulationsrechnungen bildeten die am Pegel Wittenberge gemessenen Abflüsse. Aus technischen Gründen wurde der Zeitraum für die Rechnungen in drei Abschnitte unterteilt. Nachfolgend werden die an drei Messstellen beobachteten Wasserstandsentwicklungen diskutiert. Auf die Darstellung der Ergebnisse der Messstelle Eichwald-1 wurde verzichtet, weil die Messungen nur über einen kurzen Zeitraum erfolgten und keine wesentlichen neuen Erkenntnisse erbrachten.

Mit den vorliegenden Wasserstandsaufzeichnungen konnte überprüft werden, inwieweit das instationär betriebene Modell die zeitliche Veränderung der Wasserstände im Rückdeichungsgebiet richtig wiedergibt.

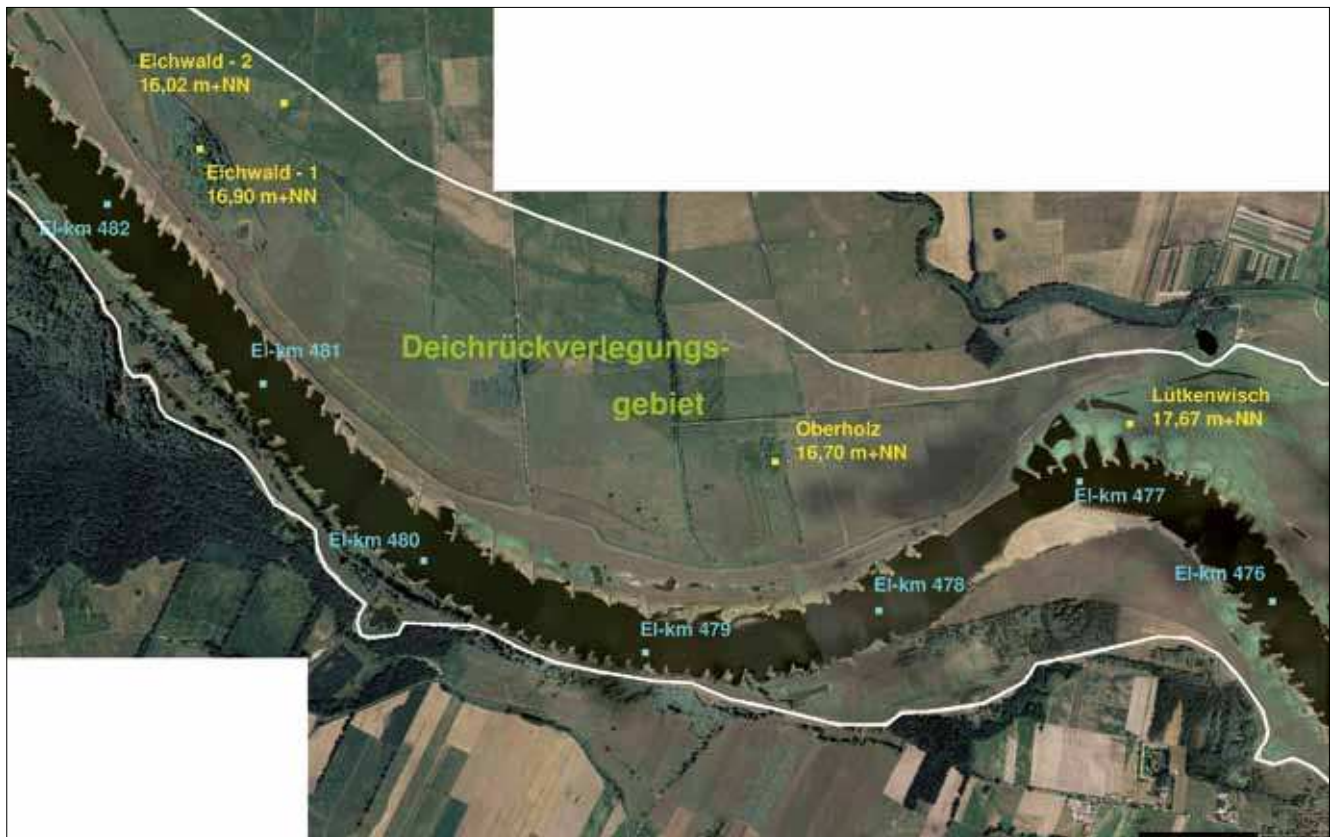


Bild 20: Lageplan der Messstellen (Luftbildaufnahme der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes 2003)
Figure 20: Survey map of the measuring stations (aerial photograph taken by the Federal Waterways and Shipping Administration in 2003)

5.5.2 Messstelle Lütkenwisch *Measuring station Lütkenwisch*

Bild 21 zeigt einen Vergleich zwischen den an der Messstelle Lütkenwisch im Zeitraum vom 24. Februar bis 12. Mai 2010 beobachteten und gemessenen Wasserständen.

An dieser stromnah gelegenen Messstelle stimmen die berechneten und gemessenen Wasserstände gut überein. Auch der zum Vergleich dargestellte zeitliche Verlauf der im Flussschlauch der Elbe auf Höhe der Messstelle ermittelten Wasserspiegellagen entspricht den an der Messstelle selbst berechneten Wasserständen. Bei ansteigendem Wasserspiegel zeigt sich eine Differenz zwischen den an der Messstelle beobachteten und den berechneten Wasserspiegellagen. Mögliche Ursachen für diese Abweichungen werden bei der Betrachtung der folgenden Messstellen diskutiert.

Bild 22 zeigt die zeitlichen Verläufe der an der Messstelle Oberholz beobachteten und berechneten Wasserstände sowie der im Flussschlauch der Elbe auf Höhe der Messstelle ermittelten Wasserspiegellagen.

5.5.3 Messstelle Oberholz *Measuring station Oberholz*

Die Messstelle Oberholz liegt in einer Eintiefung in der Nähe des südlichen Durchstiches durch den Gando wer Fährdamm. Die Entfernung zum Fluss beträgt etwa 700 m. Der Wasserstand ist in der Elbe auf Höhe der Messstelle im Vergleich zum Wasserstand an der Messstelle selbst etwas höher, sodass durch die in diesem Abschnitt gelegenen Schlitze Wasser in das Deichrückverlegungsgebiet fließen kann.

Die insbesondere bei steigenden Abflüssen zu beobachtende Differenz zwischen den gemessenen und den berechneten Wasserständen könnte teilweise darauf zurückzuführen sein, dass im Modell die in der Natur stattfindende Versickerung des Wassers nicht nachgebildet wird. Aus diesem Grund bleibt auch einmal in Senken eingelaufenes Wasser im Modell stehen, während es in der Natur nach Ablauf des Hochwassers versickern und verdunsten kann. An der in einer Eintiefung gelegenen Messstelle Oberholz wird deshalb im Modell nach Ablauf des Hochwassers auch nicht wieder der

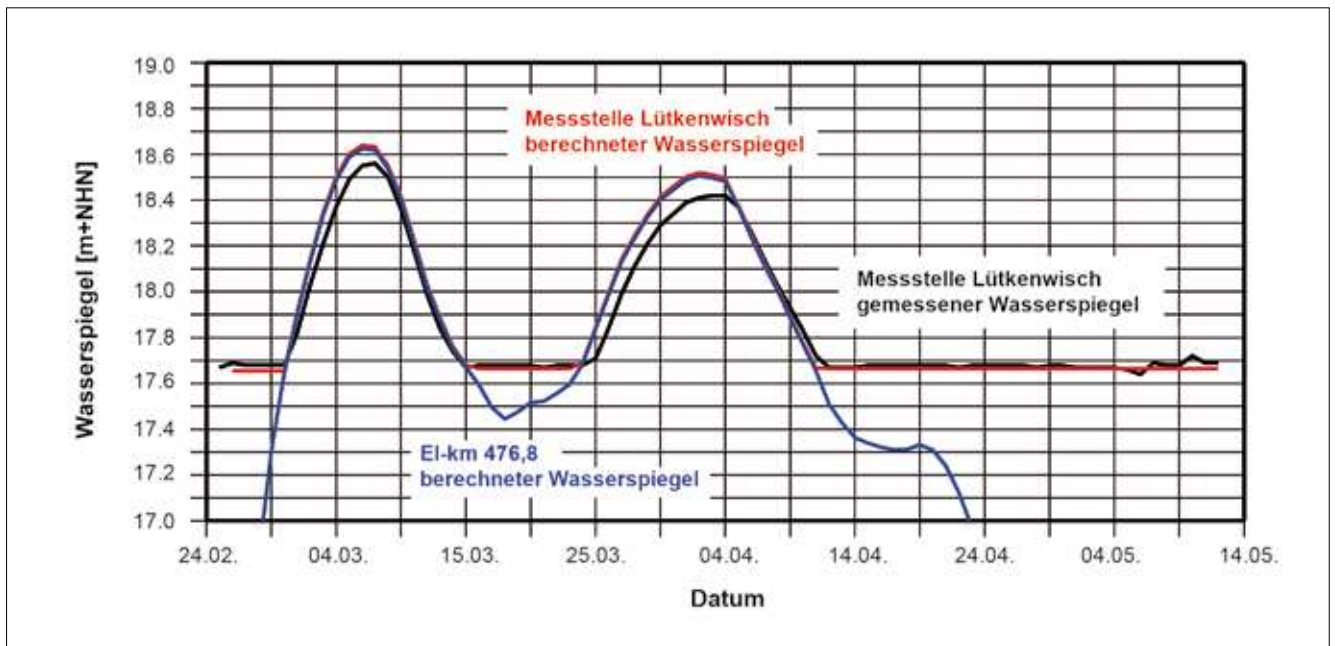


Bild 21: Zeitlicher Verlauf der an der Messstelle Lütkenwisch gemessenen und berechneten Wasserspiegellagen sowie der auf der Höhe der Messstelle im Flussschlauch (El-km 476,8) berechneten Wasserspiegellagen
 Figure 21: Chronological sequence of the water levels measured and calculated at the measuring station Lütkenwisch and of the water levels calculated at the location of the measuring station in the main channel (Elbe kilometer 476.8)

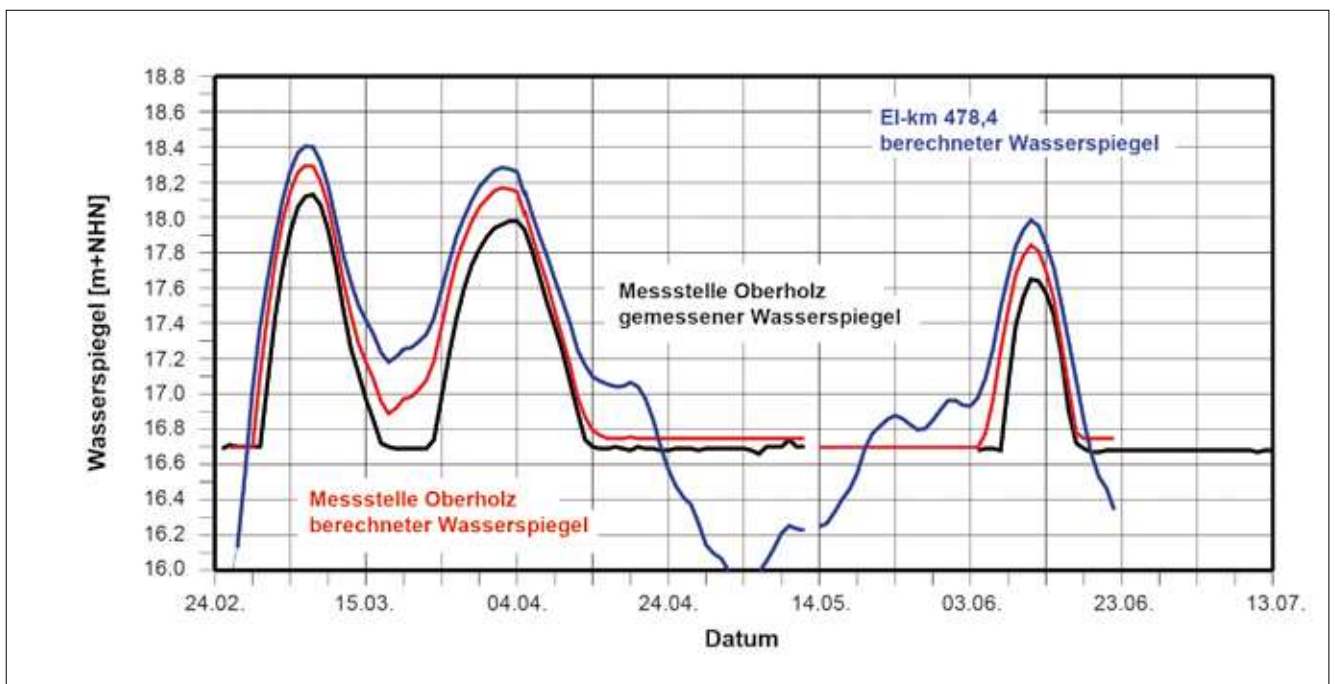


Bild 22: Zeitlicher Verlauf der an der Messstelle Oberholz gemessenen und berechneten Wasserspiegellagen sowie der auf der Höhe der Messstelle im Flussschlauch (El-km 478,4) berechneten Wasserspiegellagen
 Figure 22: Chronological sequence of the water levels measured and calculated at the measuring station Oberholz and of the water levels calculated at the location of the measuring station in the main channel (Elbe kilometer 478.4)

ursprüngliche, der Geländehöhe an der Messstelle entsprechende Wasserspiegel erreicht. Erst mit dem Neustart der Simulation am 14. Mai 2010 kann wieder ein der Geländehöhe entsprechender Wasserstand ausgewiesen (Bild 22) werden. Eine weitere Ursache für die

an allen Scheitelpunkten um ca. 20 cm abweichenden Wasserspiegellagen könnte darin zu suchen sein, dass die Höhenlage der Messdosen nicht exakt eingemessen werden konnte, sondern über die Gauß-Krüger-Koordinaten der Messstellen aus dem Digitalen Gelän-

demodell (BfG, 2008) entnommen wurde. Speziell bei stärkeren Geländegradienten sind Abweichungen der Höhenwerte in der bei den Messungen beobachteten Größenordnung nicht ungewöhnlich.

5.5.4 Messstelle Eichwald-2 *Measuring station Eichwald-2*

Bild 23 zeigt die zeitlichen Verläufe der an der Messstelle Eichwald-2 beobachteten und berechneten Wasserstände sowie der im Flussschlauch der Elbe auf Höhe der Messstelle ermittelten Wasserspiegellagen. Die Messstelle Eichwald-2 liegt ebenfalls in einer Senke im Bereich der mittleren Flutmulde. Die Entfernung zum Flussufer beträgt etwa 800 m. Im Gegensatz zur Messstelle Oberholz müssen die Wasserstände in der Elbe hier niedriger als an der Messstelle selbst liegen, weil das Wasser durch die in diesem Streckenabschnitt liegenden Schlitze aus dem Vorland in die Elbe strömt. Auch hier läuft das Wasser im Modell schneller und höher auf als in der Natur. Der Grund könnte auch hier teilweise in der im Modell nicht nachgebildeten Versickerung zu suchen sein, wobei in der Natur durch die Schaffung der Flutmulden eine große Sickerfläche vorhanden ist. Eine weitere Erklärung für die Abwei-

chungen zwischen Messung und Rechnung wäre, wie an den anderen Messstellen, die nicht exakte höhenmäßige Einmessung der Messdosen. Außerdem strömt im Modell möglicherweise zu viel Wasser über das Vorland, weil die Schlitze 2 bis 5 tatsächlich nicht so leistungsfähig sind, wie im Modell angenommen. Die Ursachen könnten neben einer den Abfluss behindernden Vegetation weiterhin in einer nicht nach ursprünglichen Planungen hergestellten Schlitzgeometrie zu suchen sein.

6 Untersuchung des Einflusses klimabedingter Abfluss- und Vegetationsänderungen auf die Wasserstands-entwicklung in der Elbe *Investigation of the influence of climate-related changes of discharge and vegetation on the water level development in the River Elbe*

Da für die Szenarien zu den klimabedingten Extremhochwässern zum jetzigen Zeitpunkt noch keine entsprechenden Abflussprojektionen vorliegen, wurde bis zur voraussichtlichen Bereitstellung dieser Daten im Jahr 2012 mit den in der Tabelle 4 aufgeführten Abflüs-

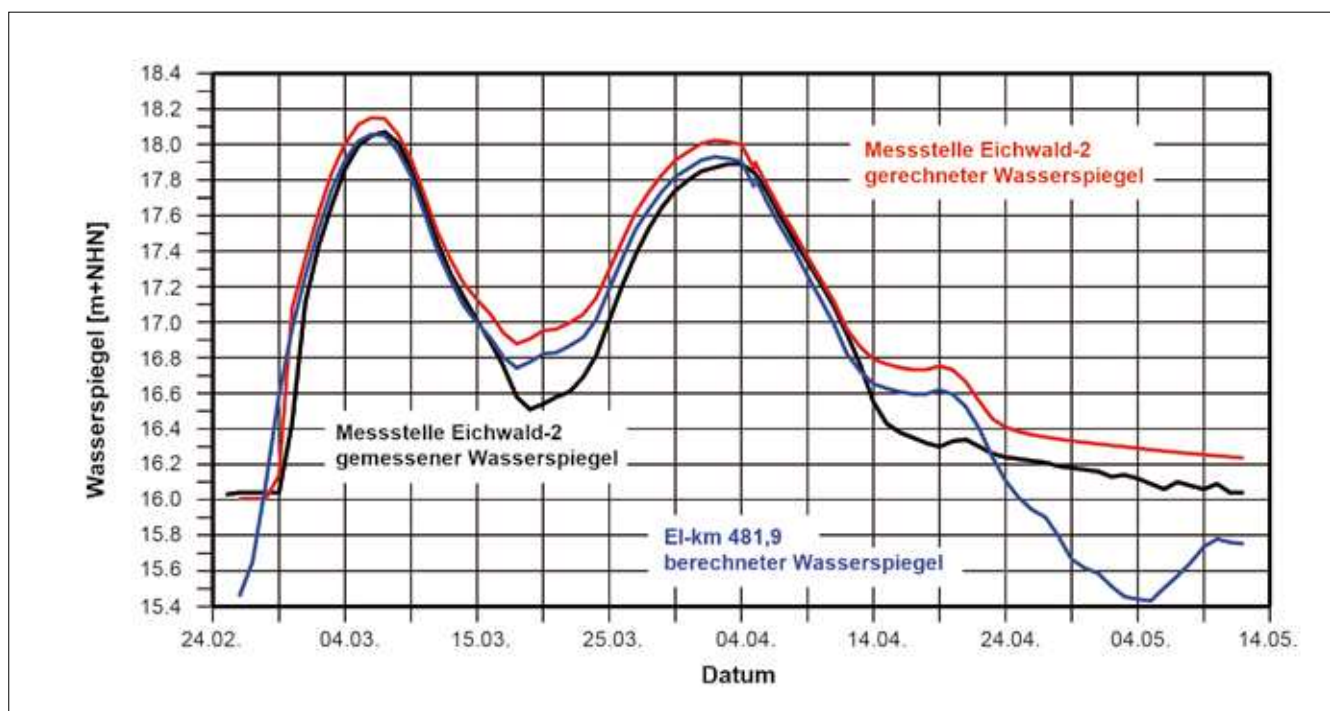


Bild 23: Zeitlicher Verlauf der an der Messstelle Eichwald-2 gemessenen und berechneten Wasserspiegellagen sowie der auf der Höhe der Messstelle im Flussschlauch (El-km 481,9) berechneten Wasserspiegellagen

Figure 23: Chronological sequence of the water levels measured and calculated at the measuring station Eichwald-2 and of the water levels calculated at the location of the measuring station in the main channel (Elbe kilometer 481.9)

Variante	1	2	3	4a	4b	4c	4d
	NQ50	MQ	HQ100	HQ _{Klima1}	HQ _{Klima2}	HQ _{Klima3}	HQ _{Klima4}
Q [m³/s]	149	704	4.020	4.700	4.800	4.900	5.000

Tabelle 4: Vorläufige, klimabedingte Extremabflüsse für die Szenarienrechnungen

Table 4: Preliminary, climate-related extreme discharges for the scenario calculations

sen (Varianten 4a-d) gerechnet (Biosphärenreservatverwaltung Niedersächsische Elbtalaue, 2010).

Weil zu den klimabedingten Änderungen der Vegetation ebenfalls noch keine Aussagen gemacht werden konnten, wurde zunächst mit dem auf der aktuellen Biotoptypverteilung basierenden Rauheitsmodell gearbeitet.

Bild 24 zeigt die berechneten Wasserspiegellagen für das HQ100 (4.020 m³/s) sowie für vier darüber liegende Abflüsse. Gegenüber dem HQ100 steigt der Was-

terspiegel bei dem höchsten betrachteten Abfluss von 5.000 m³/s um bis zu 75 cm an.

Zusätzlich wurde für den maximal angenommenen Abfluss von 5.000 m³/s eine Simulationsrechnung für den früheren Zustand ohne Deichrückverlegung durchgeführt. Damit würden sich Wasserstände ergeben, welche bis zu 45 cm über dem aktuellen Zustand mit dem zurückverlegten Hochwasserdeich liegen.

Zum Vergleich wurden weiterhin die Höhen des linkselbischen Hochwasserdeiches eingetragen (BfG, 2009).

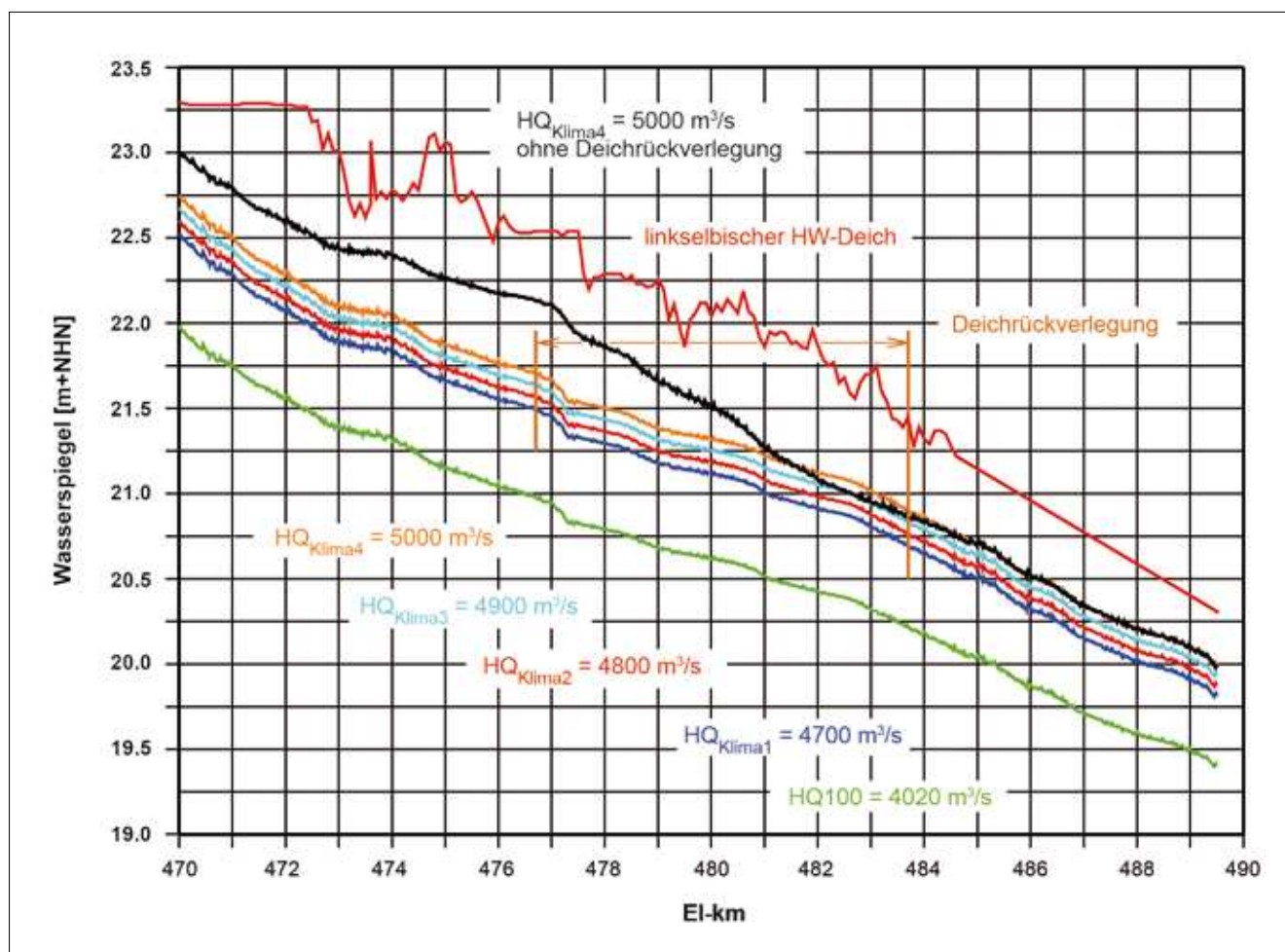


Bild 24: Szenarienrechnungen für verschiedene Hochwasserereignisse für den Ist-Zustand mit rückgedeichtem Vorland sowie für den Zustand ohne Rückdeichung für HQ_{Klima4} = 5.000 m³/s

Figure 24: Scenario calculations for different flood events for the actual scenario with dike relocation and for the scenario without dike relocation for HQ_{Climate4} = 5,000 m³/s

Bei einem angenommenen Hochwasserabfluss von $5000 \text{ m}^3/\text{s}$ beträgt der Freibord nur noch 50 bis 70 cm. Ohne die Deichrückverlegung ergäben sich in diesem Abschnitt noch geringere Freibordhöhen.

7 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Conclusions and recommendations

Infolge der vergrößerten Abflussflächen kommt es durch die Deichrückverlegung zu einer deutlichen Absenkung der Hochwasserspiegellagen. Für ein 100-jährliches Hochwasser mit einem Abfluss von $4.020 \text{ m}^3/\text{s}$ beträgt der Abfall des Wasserspiegels maximal 0,35 m am ersten Einlaufschlitz (El-km 477) und erreicht an der oberstromigen Modellgrenze (El-km 470) immer noch einen Wert von 0,2 m.

Der für ein 100-jährliches Hochwasser ermittelte Anstieg der Wasserspiegellagen durch den sich mit den geplanten Bepflanzungen entwickelnden Bewuchs ist bezogen auf den Zustand 2009 für alle Szenarien relativ gering. Dort wo er am stärksten ist, fällt der durch die Deichrückverlegung bedingte Wasserspiegelverfall um ein vielfaches größer aus, sodass durch die Anpflanzungen im Vergleich zum Zustand ohne die Deichrückverlegung keine größere Hochwassergefahr zu erwarten ist. Das betrifft insbesondere die Auswirkungen der Pflanzungen im rückgedeichten Gebiet und oberstrom davon im Lütkenwischer Werder. Der für das Jahr 2090 angenommenen Zustand einer voll entwickelten Vegetation führt bei einem 100-jährlichen Hochwasser zu einer maximalen Wasserspiegelanhebung im oberstromigen Bereich des Rückdeichungsgebietes in der Größenordnung von etwa 0,12 m. Damit liegt der Wasserspiegel immer noch ca. 25 cm niedriger als für den Zustand ohne die Rückdeichung.

Die Wasserspiegellagen im Mödlicher Werder werden durch die Deichrückverlegung nicht beeinflusst. Die hier vorgesehenen Pflanzungen (Galeriewald auf der Uferrehne, verstreute Baumgruppen auf dem Vorland) weisen einen sehr geringen Fließwiderstand auf, sodass die Wasserspiegelanhebungen rechnerisch an der Nachweisgrenze liegen. Im Vergleich zum Zustand ohne Deichrückverlegung ergibt sich durch die vorgesehenen Pflanzungen auch nach vielen Jahrzehnten keine Vergrößerung der Hochwassergefahr.

Am unterstromigen Rand des Rückverlegungsgebietes kommt es gegenüber dem Zustand ohne rückverlegten Hochwasserdeich zu einem Wasserspiegelanstieg von maximal 0,06 m (El-km 483) bei einem Abfluss von $4.020 \text{ m}^3/\text{s}$. Die Ursache für diese lokale Erhöhung der Hochwasserspiegellagen liegt darin begründet, dass ca. 85% des über das Deichrückverlegungsgebiet abgeführten Abflusses von $1.385 \text{ m}^3/\text{s}$ auf relativ engem Raum durch die Schlitz 5 und 6 wieder in den Hauptstrom gelangen. Im Vergleich zum Zustand ohne Rückdeichung wird aber im Flussschlauch deutlich weniger Wasser abgeführt ($-1.170 \text{ m}^3/\text{s}$), sodass dort auch geringere Fließgeschwindigkeiten herrschen. Mit dem lokal durch die Schlitz 5 und 6 aus dem Rückdeichungsgebiet zuströmenden Wasser steigt der Abfluss plötzlich wieder auf $4.020 \text{ m}^3/\text{s}$ an. Die zusätzliche Wassermenge kann wegen der geringeren Fließgeschwindigkeit zunächst nur über eine Erhöhung der Wasserspiegellagen abgeführt werden. Erst nach einer Beschleunigung der Strömung über das durch den Aufstau hervorgerufene stärkere Wasserspiegelgefälle werden unterhalb des Rückdeichungsgebietes die ursprünglichen Wasserstände wieder erreicht. Deshalb stellt sich auch im unterstromigen Bereich des Deichrückverlegungsgebietes ein zusätzlicher Aufstau ein, der dazu führt, dass der Wasserspiegel bis zu 0,08 m höher als im Hauptstrom liegt.

Zur Verringerung des durch die Deichrückverlegung bedingten Wasserspiegelanstiegs im Vorland müssten die Größe der Schlitz 5 und ggf. das Vorlandrelief (Flutmulden) modifiziert werden. Der Anstieg der Hochwasserspiegel im Flussschlauch im Bereich der Schlitz 5 und 6 ließe sich ebenfalls durch eine Vergleichmäßigung der aus dem Vorland strömenden Wassermengen verringern. Die beste Wirkung hinsichtlich der Absenkung der Hochwasserspiegellagen würde man allerdings durch einen Abtrag des Altdeiches bis auf eine Höhe, welche die Überströmung ab einem Abfluss von ca. $1.400 \text{ m}^3/\text{s}$ zulassen würde, erreichen. Derartige Varianten mit abgetragenen Altdeich waren bereits Gegenstand früherer Untersuchungen (BAW, 2002).

Das Teilprojekt T3.2 „Anpassungsstrategien im Biosphärenreservat Niedersächsische Elbtalaue am Beispiel der Auenlebensräume“ zielt innerhalb des KLIMZUG NORD-Verbundvorhabens darauf ab, ein klimaangepasstes integriertes Flussauenmanagement zu entwickeln. Unter Verwendung von Klimaszenarien soll dazu

an dem hier vorgestellten Modell simuliert werden, wie sich die Wasserstände der Elbe unter veränderten Abfluss- und Vegetationsbedingungen entwickeln.

Da für die Szenarien zu den klimabedingten Extremhochwässern zum jetzigen Zeitpunkt noch keine entsprechenden Abflussprojektionen vorliegen, wurde bis zur geplanten Bereitstellung dieser Daten im Jahr 2012 mit vorläufigen Abflusswerten von bis zu 5.000 m³/s gerechnet. Für den maximalen Abfluss liegt der Freibord der linkselbischen Deiche bei teilweise nur noch 50 cm.

Die Berechnungen erfolgten für den Ist-Zustand mit dem auf der aktuellen Biotoptypverteilung basierenden Rauheitsmodell. Klimabedingte Vegetationsänderungen mit den sich daraus ergebenden modifizierten Rauheitsverteilungen werden gegenwärtig untersucht und zu gegebener Zeit in die Simulationsrechnungen einfließen.

8 Literaturverzeichnis

References

Biosphärenreservatverwaltung Niedersächsische Elbtalaue (2010): Vorgabe von Abflusswerten für die Szenarienrechnungen. E-Mail vom 12. Mai 2010.

Bundesanstalt für Wasserbau (2002): Gutachten über die Untersuchung der Rückdeichung bei Lenzen mit einem zweidimensional-hydrodynamisch numerischen Modell, unveröffentlicht.

Bundesanstalt für Gewässerkunde (2008): Auswertung digitaler Fernerkundungsaufnahmen des Elbe-Wasserlaufes (FE-Datenauswertung Elbe), unveröffentlicht.

Bundesanstalt für Gewässerkunde (2009): Deichhöhenpunkte aus dem Projekt „Einheitliche Grundlage für die Festlegung der Bemessungswasserspiegellage der Elbe auf der frei fließenden Strecke in Deutschland“, Stand 02.2009.

Bundesländer (2004): Protokoll über die 1. Sitzung der Abstimmungsgruppe „Erstellung einer länderübergreifenden Hochwasserstatistik für die Elbe“ am 20. Dezember 2004 in Magdeburg.

Casulli, V., Zanolli, P.: Semi-implicit numerical modelling of non-hydrostatic free-surface flows for environmental problems. In: Mathematical and Computer Modelling, 2002, Nr. 36, S. 1131 – 1149.

Fa. ELANA Boden Wasser Monitoring, Falkenberg, (2010): Messbericht zu bodenkundlichen Untersuchungen im Rahmen der Deichrückverlegung Lenzen, unveröffentlicht.

Habersack, H. M.: Vorlesung Computerunterstützte Gewässermodellierung. TU Wien, Wintersemester 2007/2008.

Ingenieurbüro Schmid, Kapsweyer, (Mai 2010): Bericht zu den Sondermessungen auf der Elbe bei HW in Messabschnitten im Bereich Elbe-km 432 bis 490 – Messungen vom März 2010, unveröffentlicht.

Ingenieurbüro Schmid, Kapsweyer, (November 2010): Bericht zu den Sondermessungen auf der Elbe in Messabschnitten im Bereich Elbe-km 438 bis 485, Schwerpunkt Bühnenfelder und Vorländer – Messungen vom Oktober 2010, unveröffentlicht.

Ingenieurbüro Schmid, Kapsweyer, (Februar 2011): Bericht zu den Sondermessungen auf der Elbe bei HW in Messabschnitten im Bereich Elbe-km 432 bis 493 – Messungen vom Januar 2011, unveröffentlicht.

Jankowski (2009): Parallel implementation of a non-hydrostatic model for free surface flows with semi-Lagrangian advection treatment. International Journal for Numerical Methods in Fluids, 2009, Nr. 59, S. 1157 – 1179.

LUGV-Brandenburg, Vermessungsbüro Münster und Graf GbR (2011): Rekonstruktion des Scheitelwasserstandes des Hochwassers 01/2011 am Brandenburger Elbedeich auf Grundlage der Aufmessung des Wasserspiegels am 22./23.01.2011, unveröffentlicht.

Schmid, R., Niesler, H. (2013): Durchführung und Aufbereitung von Naturmessungen im Bereich der Deichrückverlegung Lenzen. In: BAWMitteilungen Nr. 97, S. 99 – 108.

Fa. Smile Consult (2009): Erstellung von Gitternetzen für das Modellverfahren UNTRIM. Kurzbericht für das Modellgebiet Elbe/Lenzen.

Trägerverbund Burg Lenzen (Elbe) e. V. (2009): Naturschutzgroßprojekt „Lenzener Elbtalaue“, E-Mail vom 7. Juli 2009.